**UDC**

### GB

**GB/T50423—20XX**

**中华人民共和国国家标准**

**P**

**油气输送管道穿越工程设计标准**

**Standard for** **design of oil and gas transportation pipeline**

**crossing engineering**

**征求意见稿**

**20XX– XX –XX发布 20XX– XX– XX实施**

**中华人民共和国住房和城乡建设部**

**联合发布**

**国家市场监督管理总局**

中华人民共和国国家标准

**油气输送管道穿越工程设计标准**

Code for design of oil and gas transportation pipeline

crossing engineering

**GB/T50423—20XX**

主编部门：中国石油天然气集团公司

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2021年XX月XX日

**前言**

根据住房和城乡建设部《关于印发2020年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》（建标函[2020]9号）的要求，本标准由中国石油天然气集团公司石油工程建设专业标准化委员会设计分标委会组织中国石油天然气管道工程有限公司会同有关单位在《油气输送管道穿越工程设计规范》GB50423-2013的基础上修订而成。

在修订过程中，编制组结合了近年来油气管道穿越工程的建设实践，经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，借鉴了有关国内和国际标准，并在广泛征求意见的基础上，反复修改，最后经审查定稿。

本标准共分9章和7个附录，主要内容为：总则，术语，基本规定，开挖穿越设计，定向钻穿越设计，隧道穿越设计，直接铺管穿越设计，公路、铁路穿越设计，管道焊接、试压及防腐等。

本标准修订的主要技术内容是：

1）统一了山岭隧道内敷设管道的设计系数，删除了冲沟穿越管道强度系数的相关规定。

2）穿越管段的作用计算和作用组合及管段应力校核作为共性内容，增加了除开挖穿越以外其它穿越方式的相关计算内容，并调整了应力校核条件和附加组合许用应力提高系数，对提高后的许用应力给出了最大限值。明确了穿越段钢管许用应力提高系数的应用工况，补充了许用应力提高系数的相关要求，附加组合的系数提高到了1.4。

3）删除了不满足埋设深度要求的开挖穿越管段稳定性验算相关条款。

4）补充了定向钻穿越管道增加外防护层的条件；新增了定向钻复合曲线的曲率半径计算要求。

5）补充了隧道的防水等级标准，对隧道最低防水等级进行了修改调整。

6）修改了矿山法隧道结构设计方法，采取破损阶段法，并相应修改了深埋隧道衬砌结构围岩压力的计算公式；修改了复合式衬砌的设计参数表中V级围岩的设计参数；新增了盾构隧道的平面线形要求；细化了触变泥浆减阻管壁与土的平均摩阻力表。

7）增加了第7章直铺管穿越设计。

8）增加了第8章关于铁路和公路穿越的相关内容。

本标准由中国石油天然气集团公司石油工程建设专业标准化委员会设计分标委负责日常管理，由中国石油天然气管道工程有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国石油天然气管道工程有限公司（地址：河北省廊坊市和平路146号，邮编：065000）。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

本标准主编单位：

本标准参编单位：

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

**目次**

[1 总则 9](#_Toc71209242)

[2 术语 10](#_Toc71209243)

[3 基本规定 12](#_Toc71209244)

[3.1 一般规定 12](#_Toc71209245)

[3.2 穿越管段计算 12](#_Toc71209246)

[3.3 水域穿越 17](#_Toc71209247)

[3.4 山岭、冲沟穿越 19](#_Toc71209248)

[4 开挖穿越设计 20](#_Toc71209249)

[4.1 敷设要求 20](#_Toc71209250)

[4.2 水下管段稳定 21](#_Toc71209251)

[4.3 防护工程设计 22](#_Toc71209252)

[5 定向钻穿越设计 25](#_Toc71209253)

[5.1 一般规定 25](#_Toc71209254)

[5.2 敷设要求 25](#_Toc71209255)

[5.3 管段计算 26](#_Toc71209256)

[6 隧道穿越设计 28](#_Toc71209257)

[6.1 一般规定 28](#_Toc71209258)

[6.2 作用与作用组合 29](#_Toc71209259)

[6.3 矿山法隧道设计 31](#_Toc71209260)

[6.4 盾构隧道设计 34](#_Toc71209261)

[6.5 顶管隧道设计 36](#_Toc71209262)

[6.6 竖井工程 37](#_Toc71209263)

[6.7 斜巷工程 40](#_Toc71209264)

[6.8 工程材料 40](#_Toc71209265)

[6.9 防水与排水 41](#_Toc71209266)

[6.10 隧道内管道安装 43](#_Toc71209267)

[6.11 隧道附属设施 44](#_Toc71209268)

[7 直铺管穿越设计 45](#_Toc71209269)

[8 公路、铁路穿越设计 46](#_Toc71209270)

[8.1 一般规定 46](#_Toc71209271)

[8.2 公路穿越 47](#_Toc71209272)

[8.3 铁路穿越 50](#_Toc71209273)

[9 焊接、试压及防腐 51](#_Toc71209274)

[9.1 焊接、检验 51](#_Toc71209275)

[9.2 清管、测径及试压 52](#_Toc71209276)

[9.3 腐蚀控制 52](#_Toc71209277)

[附录A　深埋隧道衬砌作用计算方法 54](#_Toc71209278)

[附录B　浅埋隧道衬砌作用计算方法 55](#_Toc71209279)

[附录C 偏压隧道衬砌作用计算方法 57](#_Toc71209280)

[附录D 盾构管片内力计算 59](#_Toc71209281)

[附录E 顶管隧道结构计算 62](#_Toc71209282)

[附录F 无套管穿越公路土压力产生的管道应力计算 67](#_Toc71209286)

[附录G 无套管穿越公路车辆荷载产生的管道循环应力计算 70](#_Toc71209287)

[附录H 敷管条件的设计参数 75](#_Toc71209288)

[本规范用词说明 76](#_Toc71209289)

[引用标准名录 77](#_Toc71209290)

附：[条文说明 78](#_Toc71209291)

**Contents**

[1 General provisions](#_Toc155752735) 9

[2 Terms 10](#_Toc155752736)

[3 Basic requirement](#_Toc155752737) 12

[3.1 General requirements](#_Toc155752738) 12

[3.3 Calculation of crossing pipeline](#_Toc155752741) 12

[3.4 Water areas crossing](#_Toc155752740) 17

[3.5 Valley and gully crossing](#_Toc155752741) 19

[4 Pipeline crossing by open-cut excavating……….. ……………………………………………......20](#_Toc155752744)

[4.1 Laying requirement](#_Toc155752745) 20

[4.2 Crossing section stabilization 21](#_Toc155752746)

[4.3 Hydraulic structure protection](#_Toc155752749) 22

[5 Pipeline crossing by horizontal directional drilling](#_Toc155752750) 25

[5.1 General requirements](#_Toc155752751) 25

[5.2 Crossing curve](#_Toc155752752) 25

[5.3 Calculation of pipeline](#_Toc155752752) 26

[6 Pipeline crossing in tunnel](#_Toc155752753) 28

[6.1 General requirements](#_Toc155752754) 28

[6.2 Loads and combination 2](#_Toc155752756)9

[6.3 Lining design of mining tunnel](#_Toc155752757) 31

[6.4 Design of shield tunnel](#_Toc155752758) 34

[6.5 Design of pipe jacking tunnel 36](#_Toc155752759)

[6.6 Shaft](#_Toc155752760) 37

[6.7 Inclined shaft](#_Toc155752761) 40

[6.8 Materials](#_Toc155752762) 40

[6.9 Waterproof and drainage](#_Toc155752763) 41

[6.10 Pipeline installation in tunnel](#_Toc155752764) 43

[6.11 Ventilation and lighting](#_Toc155752765) 44

[7 Directpipe crossing](#_Toc155752766) 45

[8 Railway and highway crossing](#_Toc155752766) 46

[8.1 General requirements](#_Toc155752767) 46

[8.2 Highway crossing](#_Toc155752768) 47

[8.3 Railway crossing](#_Toc155752769) 50

[9 Welding ,pressure test and anticorrosion 52](#_Toc155752770)

[9.1 Welding and inspection 52](#_Toc155752771)

[9.2 Pressure test、pigging and gauging 5](#_Toc155752772)2

[9.3 Anticorrosion 53](#_Toc155752773)

[Appendix A Calculation of deepburied tunnel lining](#_Toc155752774) 54

[Appendix B Calculation of shallow buried tunnel lining](#_Toc155752775) 55

[Appendix C Calculation of the asymmetry pressure on the tunnel lining](#_Toc155752774) 57

[Appendix D Calculation of the segment internal force for shield tunnel](#_Toc155752774) 59

[Appendix E Calculation of the force for the tunel by shield digging](#_Toc155752774) 62

[Appendix F Pipe stress calculation for uncased crossings of highway by earth pressure](#_Toc155752774) 67

[Appendix G Cyclic stress calculation for uncased crossings of highwayby vehicle load](#_Toc155752774) 70

[Appendix H Design parameters of pipe laying conditions](#_Toc155752774) 75

Explantion of wording in this code ………………………………………………………………….76

List of quoted standards …………………………………………………………….……………..77

Addition:Explanation of provisions………...………………………………………………………..78

# 总则

**1.0.1**为了在油气输送管道穿越工程（以下简称穿越工程）设计中贯彻国家有关法规政策，确保工程安全、环保、质量、经济合理，制定本标准。

**1.0.2**本标准适用于油气输送管道在陆上穿越天然或人工障碍的新建、改建和扩建工程设计。

**1.0.3**穿越工程设计除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 术语

* + 1. 管道穿越工程Pipeline crossing engineering

管道从天然或人工障碍物下部通过的建设工程。

* + 1. 穿越管段Crossingpipeline

穿过天然或人工障碍物地段的管道，其长度包括穿越障碍物的长度和两侧连接段的长度。

* + 1. 水域Water areas

天然形成或人工建造的江河、湖泊、运河、水库、水渠。

* + 1. 设计洪水Design flood

与工程等级所规定的设计洪水频率相对应的洪水数据，包括设计洪水流量、设计洪水水位、设计洪水流速。

* + 1. 冲沟Gully

水流冲刷形成的沟堑。

* + 1. 水下管道稳定Underwaterpipeline stabilization

水下管段不产生漂浮或移位的条件。

* + 1. 水平定向钻穿越Crossing by horizontal directional drilling

用定向钻机敷设穿越管段，简称“定向钻穿越”。

* + 1. 直接铺管穿越Direct pipe crossing

用直接铺管掘进机及推管机敷设穿越管段。

* + 1. 隧道穿越Pipeline crossing in tunnel

在隧道中敷设穿越管段的一种穿越方法。

* + 1. 矿山法隧道Mining tunnel

采用开挖地下坑道方法修筑的隧道。

* + 1. 盾构隧道Shield tunnel

用盾构机掘进建造的隧道。

* + 1. 顶管隧道Pipe jacking tunnel

用顶管机掘进建造的隧道。

* + 1. 斜巷Inclined shaft

纵向坡度大于10°的倾斜隧道，通常指管道陆上隧道或水域穿越隧道平巷两侧的斜隧道。

* + 1. 竖井Shaft

施工及运营期间，为满足管道安装、设备及材料运输、人员进出、供电、通风、给排水等作业而修建的垂直井筒。

* + 1. 沉井Sinking well

竖井的一种，在地面上分段预制竖井并通过挖土分段沉入到地下一定深度后形成的地下构筑物。

* + 1. 地下连续墙Diaphragm wall

采用专用挖掘机械在地层中成槽或成孔并用泥浆充填护壁后，浇注钢筋混凝土或插入预制混凝土构件所形成的地下连续墙体结构。

* + 1. 钻孔咬合桩Drilling bitten pile

平面布置的相邻桩圆周相嵌、相互咬合而形成的混凝土“桩墙”。

* + 1. 型钢水泥土搅拌墙Soil mixed wall

在连续套接的三轴水泥土搅拌桩内插入型钢形成的复合挡土止水围护结构。

* + 1. 三轴水泥土搅拌桩Soil-cement pile mixed by three shafts

以水泥作为主固化剂，通过三轴搅拌机将固化剂和地基土强制搅拌，使地基土硬化成具有连续性、抗渗性和一定强度的桩体。

* + 1. 作用Action

施加在结构上的集中力或分布荷载和引起结构外加变形或约束变形的间接作用。

# 基本规定

## 一般规定

* + 1. 穿越工程设计前，应取得所输介质物性资料及输送工艺参数。介质物性资料及输送工艺参数的要求应符合现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253和《输气管道工程设计规范》GB 50251的有关规定。
    2. 穿越工程设计应符合管道工程专项评价的结论及批复意见。
    3. 选定穿越位置后，根据设计阶段的要求，测量及勘察应按照现行国家标准《油气输送管道工程测量规范》GB/T 50539和《油气田及管道岩土工程勘察标准》GB/T 50568的规定执行。
    4. 穿越工程抗震设防应按照现行国家标准《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470的有关要求设计。
    5. 位于设计地震动峰值加速度a≥0.1g地区的河流大中型穿越工程，应查清下列三种情况：

1 有无断层，断层活动性质，活动断层未来发生的最大、平均水平和竖向位错量；

2 历史地震中两岸或河床出现开裂或错动的情况；

3 地震地质灾害类型、程度和分布，如地基土液化、岸坡滑动、崩塌等。

* + 1. 穿越工程用钢管，应符合现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253、《输气管道工程设计规范》GB 50251的有关规定。
    2. 穿越管段应根据现行国家标准《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447的有关规定，取得腐蚀控制设计所需的相关环境资料。

## 穿越管段计算

* + 1. 穿越段钢管的壁厚应按下式计算确定，钢管外径与壁厚之比不应大于100。

 （3.2.1）

式中：——钢管计算壁厚（mm）；

******——输送介质设计内压力（MPa）；

——钢管外径（mm）；

——输送钢管许用应力（MPa）。

* + 1. 钢管的许用应力应按下式计算。

 （3.2.2）

式中：——输送油气钢管的许用应力（MPa）；

——钢管的规定最小屈服强度（MPa）；

——钢管焊缝系数，符合本标准3.1.6条要求标准的钢管，Φ取1.0；

——温度折减系数，当设计温度小于120℃时，t值取1.0；

——强度设计系数，按表3.2.2取值。

**表3.2.2强度设计系数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 穿越管段类型 | 输气管道地区等级 | | | | 输油管道 |
| 一 | 二 | 三 | 四 |
| Ⅲ、Ⅳ级公路有套管或涵洞穿越 | 0.72 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.72 |
| Ⅲ、Ⅳ级公路无套管穿越 | 0.60 | 0.50 | 0.50 | 0.40 | 0.60 |
| Ⅰ、Ⅱ级公路、高速公路、铁路穿越 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| 山岭隧道穿越 | 0.60 | 0.50 | 0.50 | 0.40 |
| 水域小型穿越 | 0.72 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.72 |
| 水域大、中型穿越 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.40 | 0.50 |

注：1 穿越渡槽、桥梁、古迹可视其重要性参照水域穿越选取设计系数；

2 输气管道地区等级划分应符合现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB50251的有关规定。

* + 1. 穿越管段计算的作用应包括永久作用、可变作用和偶然作用，并应按下列规定计算：

1. 永久作用应包括输送介质内压力、管道及其结构自重、输送介质自重、管周土压力、静液压力、浮力、强制弹性变形产生的变形应力；
2. 可变作用应包括动水压力、车辆荷载、温度作用、检修荷载、试压充水压力、试压充水荷载、清管荷载、施工荷载；
3. 偶然作用，包括地震作用及其他可能发生的偶然作用。
   * 1. 穿越管段应根据穿越管道上可能发生的工作状况，按主要组合、附加组合、特殊组合进行运营、施工阶段不同设计工况的作用组合，取其最不利工况组合进行设计。主要组合应为运营阶段永久作用与可能发生的可变作用的组合；附加组合应为施工阶段永久作用与可能发生的可变作用的组合；特殊组合应为运营阶段永久作用与偶然作用及可能发生的可变作用的组合。
     2. 穿越管段应根据设计选用壁厚和管材等级，核算强度、刚度及稳定性。
     3. 穿越管段的应力计算应符合下列规定：
4. 内压产生的环向应力应按下式计算：

（3.2.6-1）

1. 内压产生的轴向应力应分别按式（3.2.6-2）与式（3.2.6-3）计算：
2. 当管段轴向变形受约束时，：

 （3.2.6-2）

1. 当管段轴向变形不受约束时：

 （3.2.6-3）

1. 温度变化产生的轴向应力应按下式计算：

 （3.2.6-4）

1. 弹性敷设产生的弯曲应力应按下式计算：

  （3.2.6-5）

1. 轴向荷载产生的轴向应力应按下式计算：

 （3.2.6-6）

1. 隧道内管段架空敷设时，荷载作用下产生的应力计算应符合下列规定：
2. 弯矩产生的弯曲应力应按下式计算：

 （3.2.6-7）

1. 挠度产生的轴向应力应按下式计算：

 （3.2.6-8）

1. 剪力产生的最大剪应力应按下式计算：

 （3.2.6-9）

式中：*σh* ——管段内压或外压产生的环向应力（MPa）；

*σap* ——管段内压产生的轴向应力（MPa）；

*σat* ——温度变化产生的轴向应力（MPa）；

*σbe*——弹性敷设产生的弯曲应力（MPa）；

*σbm*——弯矩产生的弯曲应力（MPa）；

*σaf*——挠度产生的轴向应力（MPa）；

*σax*——轴力产生的轴向应力（MPa）；

*τ* ——剪力产生的最大剪应力（MPa）；

*P* ——穿越管段所受的内压或外压（MPa）；

*d* ——钢管内径（mm）；

——钢管外径（mm）；

*δ* ——钢管壁厚（mm）；

*Es*——钢材的弹性模量，取2.1×105（MPa）；

*μ* ——钢材的泊桑比，取0.3；

*α* ——钢材的线膨胀系数，取1.2×10-5[m/（m·℃）]；

*t*1 ——管道安装闭合时的环境温度（℃）；

*t*2 ——穿越管段输送介质温度（℃）；

*R* ——管段弹性敷设曲率半径（mm）；

*N*——外荷载产生的轴力（N）；

*A* ——钢管的截面面积（mm2）；

*M* ——架空管段荷载作用下产生的弯矩（N·mm）；

*W* ——钢管的净截面抵抗拒（mm3）

*f* ——架空管段荷载作用下产生的最大挠度（mm）；

*L* ——架空管段跨度（mm）；

*V*——架空管段荷载作用下产生的剪力（N）。

1. 其他作用引起的环向应力、轴向应力、弯曲应力和剪应力，应根据实际可能发生的情况进行计算。
2. 各作用组合下的总轴向应力应按下式计算：

（3.2.6-10）

*σa*应按不同作用组合的代数和进行计算。

1. 各作用组合下的当量应力应符合下列规定：
2. 当管段轴向变形受约束时：

 （3.2.6-11）

1. 当管段轴向变形不受约束时：

 （3.2.6-12）

* + 1. 穿越管段强度校核（不包括地震作用组合）应符合下列规定：

1. 当管段轴向变形受约束时各作用组合下的各单项总应力及当量应力应符合下列规定：
2. 各作用组合下的总轴向应力应满足下式要求：

 （3.2.7-1）

1. 管段内压产生的环向应力应满足下式要求：

除试压以外的工况：

 （3.2.7-2）

试压工况：

 （3.2.7-3）

1. 各作用组合下的当量应力应满足下式要求：

 （3.2.7-4）

1. 当管段轴向变形不受约束时，各作用组合下的当量应力应满足下式要求：

 （3.2.7-5）

式中：*σa* ——各作用组合下的总轴向应力（MPa）；

*σh* ——管段内压（或外压）产生的环向应力，试压工况*σh*为试验压力与静水压力之和所产生的环向应力（MPa）；

*σe* ——穿越管段的当量应力（MPa）；

*σ*s ——穿越段钢管的规定最小屈服强度（MPa）；

*η*——穿越段钢管许用应力提高系数；

[*σ*] ——穿越段钢管许用应力，按本标准第3.2.2条取用（MPa）。

1. 钢管许用应力提高系数应按表3.2.7确定，且提高后的许用应力附加组合不应大于0.8σs，特殊组合不应大于1.0σs。

**表3.2.7 许用应力提高系数**

|  |  |
| --- | --- |
| 荷载组合 | 提高系数 |
| 主要组合 | 1.0 |
| 附加组合 | 1.4 |
| 特殊组合 | 1.5 |

* + 1. 穿越管段抗震设计和校核应符合现行国家标准《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470的有关规定。
    2. 当按本标准第3.2.6条计算出穿越管段承受轴向压应力时，应按下列公式核算管段的轴向稳定。

≤ （3.2.9-1）

 （3.2.9-2）

式中： ——由温度和内压产生的轴向压力（MN），

——管段开始失稳时的临界轴向力（MN），按现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB50253-2014附录K的规定计算；

 ——安全系数，对于大型穿越工程，*n* =0.7；中型穿越工程，*n* =0.8；小型穿越工程，*n* =0.9；

 ——钢材的线膨胀系数，取1.2×10-5[m/（m·℃）]；

 ——钢材的泊桑比，取0.3；

 ——穿越管段钢管的截面面积（m2）。

## 水域穿越

* + 1. 穿越工程应获得设计所必需的水文资料；穿越水域上、下游建有对工程有影响的水库时，应取得通过水库防洪调度后的设防洪水及冲淤资料；位于库区的工程，还应取得库岸再造影响范围资料。
    2. 选择的穿越位置应符合线路总体走向，对于大、中型穿越工程，线路局部走向应按所选穿越位置进行调整，并应符合下列规定：

1 穿越位置宜选在岸坡稳定地段。

2 穿越位置不宜选择在全新世活动断裂带及影响范围内；

3 穿越轴线宜与河流正交通过，若遇特殊情况可斜交。斜交时，采用定向钻穿越方式不宜小于30°，采用其他方式交角不宜小于60°。

* + 1. 水域穿越工程应按表3.3.3划分工程等级，并应采用与工程等级相应的设计洪水频率。桥梁上游300m范围内的穿越工程，设计洪水频率不应低于该桥梁的设计洪水频率。

**表3.3.3 水域穿越工程等级与设计洪水频率**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 工程等级 | 穿越水域的水文特征 | | 设计洪水频率 |
| 多年平均水位的水面宽度（m） | 相应水深（m） |
| 大型 | ≥200 | 不计水深 |
| ≥100～＜200 | ≥5 | 1％  （100年一遇） |
| 中型 | ≥100～＜200 | ＜5 | 2％  （50年一遇） |
| ≥40～＜100 | 不计水深 |
| 小型 | ＜40 | 不计水深 | 2％  （50年一遇） |

注：1 其他障碍物穿越可视其重要性参照水域穿越确定工程等级。

* + 1. 对于季节性河流或无资料的河流，水面宽度可按不含滩地的主河槽宽度选取；对于游荡性河流，水面宽度应按深泓线摆动范围选取，若无资料，宜按两岸大堤间宽度选取；有特殊要求的工程，可提高工程等级。
    2. 穿越管段可采用开挖、定向钻、直铺管、隧道等穿越方式。大、中型穿越工程宜作方案比选。
    3. 穿越长度和埋深应符合下列规定：

1 穿越长度宜涵盖设计洪水淹没范围。主河道的穿越长度应包括两岸防洪堤，并满足堤防保护的距离要求。当两岸无防洪堤时，主河道的穿越长度应根据管道使用期间可能的河床摆动范围确定；

2当两岸设有防洪堤坝及规划防洪堤坝时，穿越的起始位置及堤下埋深应满足水利主管部门规定；

3当工程建在水库泄洪影响范围内时，穿越管段埋深应综合泄洪时的局部冲刷及常规泄水的清水冲刷深度确定；

4 新建或规划库区内的穿越工程，穿越长度和埋深应满足库岸再造作用后的稳定性要求。

* + 1. 穿越管段与公路、铁路桥梁、水下隧道并行敷设的最小距离应根据穿越形式确定，并应符合下列规定：

1 当采用开挖管沟埋设时，管道中线与特大桥、大桥、中桥、水下隧道最小水平距离不宜小于100m；距离小桥最近边缘不宜小于50m；

2 当采用定向钻或直铺管穿越时，管道中线距离水下桥梁墩台外边缘不宜小于10m，且不应影响桥梁墩台安全；距离水下隧道的净距不应小于30m；

3 当采用隧道穿越时，隧道的埋深及边缘至墩台的距离不应影响桥梁墩台的安全；管道隧道与公路隧道、铁路隧道、水利隧道的净距不宜小于30m；

4 当不能满足上述要求时，应协商确定。

* + 1. 水域穿越管段与港口、码头、水下建构筑物之间的距离，当采用开挖穿越时不宜小于200m，当采用定向钻穿越、直铺管穿越、隧道穿越时不宜小于100m。
    2. 当采用定向钻、直铺管或隧道穿越河流堤坝时，应根据不同的地质条件采取措施控制堤坝和地面的沉陷，防止穿越管道处发生管涌，不应危及堤坝的安全。定向钻、直铺管入土点、出土点及隧道竖井边缘距大堤坡脚的距离不宜小于50m。
    3. 穿越通航的水域，管段的埋深应避免船锚或疏浚机具对管道的损伤。两岸应按现行国家标准《内河交通安全标志》GB 13851的有关规定设置标志。
    4. 当穿越管段区域河道内有对河床的形态及地质条件产生影响的挖砂、采矿活动时，管道的穿越长度、埋设深度应位于影响范围以外，并应采取必要的防护措施。
    5. 通过饮用水源保护区的穿越及河流大型穿越工程，输油管道在两岸应设置截断阀室，截断阀室应设置在交通方便、不被设计洪水淹没处；输气管道在穿越两岸可不设截断阀室。
    6. 地震时易发生土壤液化的开挖穿越管段，不宜将穿越管段埋在液化层内。确需埋入液化地层内时，应采取换土、地质改良、软体排、土工布袋压载措施，不应采用混凝土马鞍型压重块稳管。

## 山岭、冲沟穿越

* + 1. 山岭隧道与铁路隧道、公路隧道交叉时，竖向净间距不宜小于30m。
    2. 山岭隧道的高程应满足输送工艺要求。
    3. 管道穿越泥石流沟时，管道应埋设在泥石流堆积区稳定层内或不受冲蚀的地层中，管顶埋深不应小于1m，宜在管道上方设置排洪构筑物。
    4. 穿越湿陷性黄土冲沟，应综合设计沟顶的截水、排水、导水工程、坡面的防护工程、沟底的稳管及防冲蚀工程，导水沟宜将水导入天然泄水沟中。采用开挖斜巷方式穿越高陡边坡时，洞身应进行回填，洞口应做防水处理。
    5. 开挖穿越深而陡的黄土冲沟，应结合边坡不可恢复原状的特点，对所形成的新断面做水工保护及水土保持工程设计。
    6. 管道不宜从土层未固结稳定的淤土坝上游穿越，当确需穿越时，应对土层厚度、固结程度、地质条件作岩土评价，并应采取安全措施。
    7. 管道不宜在狭窄冲沟内顺沟敷设。如受条件限制难以避开时，宜进行专项水文调查研究，查明设计冲刷深度及冲沟稳定性，作为穿越工程设计的依据。

# 开挖穿越设计

## 敷设要求

* + 1. 水域开挖穿越位置，除结合线路走向外，应选择岸坡稳定、水流冲淤变化幅度不大、不影响有关水域规划的实施、地震断裂活动影响较小且施工条件较好的地段。
    2. 水域开挖穿越管段的最小埋深，应根据工程等级与相应设计洪水冲刷深度或疏浚深度要求确定，并应符合表4.1.2的规定。当河流深泓线反复摆动时，穿越管段在深泓线摆动范围内埋深均应满足设计冲刷深度或疏浚深度要求。

**表4.1.2水域开挖穿越管段的最小埋深（m）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 水域情况 | 大型 | 中型 | 小型 |
| 有冲刷或疏浚的水域，应在设计洪水冲刷线下或设计疏浚线下，取其深者 | ≥1.5 | ≥1.2 | ≥1.0 |
| 无冲刷或疏浚的水域，应埋在水床底面以下 | ≥1.5 | ≥1.3 | ≥1.0 |
| 河床为基岩，并在设计洪水下不被冲刷时，管段应嵌入基岩深度 | ≥0.8 | ≥0.6 | ≥0.5 |

注：1 当水域有抛锚或疏浚作业时，管顶埋深应达到防腐层不受机械损伤的要求；

2 以下切为主的河流，埋深应从累积冲刷线算起；

3 当管道有配重或稳管结构物时，埋深应从结构物顶面算起；

4 基岩内管道埋深尚应根据岩性、风化程度确定，强风化岩、软岩埋深应加大。

* + 1. 采用围堰导流或降水措施开挖的管沟，其断面尺寸应按照地质条件、水文条件、开挖深度和底宽、施工季节、排水设施设计、焊接方式确定。
    2. 带水开挖的管沟，断面尺寸应根据地质条件、水文条件、 开挖深度、施工季节、挖沟方法确定或根据试挖确定管沟尺寸。
    3. 当水下穿越管段采用稳管措施时，稳管配重物不应损伤管道防腐涂层。
    4. 不带水开挖岩石、卵砾石管沟时，挖深除应满足本标准第4.1.2条设计埋深要求外，还应超挖200mm。管道下沟前，沟底应先铺设压实后厚度为200mm的砂类土、细土或细石混凝土垫层。管沟回填时，应先用细土或砂回填至管顶以上0.3m后，方可用原状土回填，回填土中的岩石和碎石块最大粒径不应超过250mm；当基岩段管沟采用混凝土浇筑稳管方式时，浇筑层厚度应不小于管道上方0.5m，管沟其余回填可采用原状土回填。
    5. 穿越区域的地下水或岩土层具有腐蚀性时，除管段自身防腐满足要求外，稳管措施所用材料应有抗腐蚀的性能。

## 水下管段稳定

* + 1. 水下穿越管段沟埋敷设后，不应发生管段漂浮和移位。
    2. 当水下穿越管段埋深符合本标准第4.1.2条要求时，不需作抗移位验算，但应按下式进行抗漂浮核算：

≥ (4.2.2-1)

式中：——单位长度管段的总重力（包括管身结构自重、配重层重、设计洪水冲刷线至管顶的岩土层重；不含管内介质重量）（N/m）；

——稳定安全系数，大、中型穿越工程取1.2，小型穿越工程取1.1；

——单位长度管段静水浮力。

对于竖向弹性敷设穿越管段，管段总重力W1还应减去管段向上的弹性抗力，弹性抗力应按下列公式计算：

 （4.2.2-2）

 （4.2.2-3）

 （4.2.2-4）

 （4.2.2-5）

式中：——弹性敷设管段单位长度抗力（N/m）；

——钢管弹性模量，取2.1×1011（N/m2）；

 ——钢管截面惯性矩（m4）：

 ——弹性敷设的矢高（m）：

——钢管的外径（m）；

——钢管的内径（m）；

——钢管的壁厚（m）；

——钢管重度，取78.5×103（N/m3）;

——竖向弹性敷设设计曲率半径（m），不应小于1000D；

——弹性敷设起终点间的水平长度（m）；

——管段弹性敷设转角（º）。

* + 1. 穿越段管道应根据具体的工程地质、水文条件确定稳管形式。

## 防护工程设计

* + 1. 防护设计应根据水域特性、水文参数、水域及周边地貌、地质情况，结合防护位置及相关评价要求，采用适宜的护岸、护底、护脚、稳管和地表排水防护措施。
    2. 在河流上设置导流构筑物时，应根据河道的河势、地质、水文参数、河道演变规律和防护要求规划治导线，并应避免冲刷农田、村庄、道路和管道。
    3. 防护工程填筑材料宜因地制宜就地取材，不宜采用膨胀土、粉砂、淤泥、盐渍土、冻土、杂填土或有机质土填筑。填筑物应分层夯实或压实，并应符合水利主管部门的要求。
    4. 防护工程的设计洪水频率宜与穿越工程设计洪水频率相同，护岸顶应高出设计洪水位（包括浪高和壅水）0.5m以上。若堤岸顶低于设计洪水位，护岸顶宜与堤顶平齐。
    5. 护岸工程基础基底埋深宜在水床面下不小于1m处，并宜满足设计冲刷线下1m和冰冻线下0.3m的要求。当护岸工程基础埋深无法满足上述条件时，可采取抛石、石笼、混凝土柔性板等措施护脚。护脚于垂直水流方向的防护长度不应小于设计洪水冲刷深度的1.5倍。
    6. 护岸工程顺水流方向的长度，应根据水流形态、岸坡地质条件及施工扰动岸坡情况确定，应大于施工开挖的岸坡宽度。
    7. 浆砌石、混凝土或钢筋混凝土板护岸面下方，应有100mm～200mm厚的级配良好的砂砾石垫层。
    8. 浆砌石、混凝土或钢筋混凝土板的护岸，每隔10m～20m应设置伸缩缝，在对应的基础上应设置沉降缝，缝宽20mm～30mm，以沥青麻筋或沥青板条填塞。
    9. 浆砌石护岸工程应设置排水孔，并在排水孔处设置反滤层。排水孔应设于常水位0.3m以上。
    10. 护岸工程与调治构筑物均应核算坡面滑动、沿弧面或不均匀土体的折线面滑动的抗滑稳定性。抗滑稳定安全系数宜取1.30。
    11. 浆砌石护岸厚度可按下列公式计算确定，且不应小于350mm。

 （4.3.11-1）

*Psj=Psj1+Psj2* （4.3.11-2）

 （4.3.11-3）

 （4.3.11-4）

式中:——浆砌片石（浆砌混凝土块）护岸厚度（m）；

——护面斜坡与坡脚水平线的夹角；

——动水作用于护岸的上举力（N/m2），浆砌护岸只计算静上举力Psj1，干砌护岸还应计算脉动上举力Psj2；

——动水作用于护岸的静上举力（N/m2）；

——动水作用于干砌护岸上的脉动上举力（N/m2）；

——与护面结构有关的系数，浆砌护面取1.1～1.2，干砌护面取1.5～1.6；

——与护面透水性有关的系数，浆砌护面取0.3，干砌护面取0.1；

——脉动压力系数，可按现场的实测值取用，或按水利部门护坦脉动压力试验所得最大值0.4取用；

——河水的平均流速（m/s）；

——重力加速度，取9.8m/s2；

——砌石的密度（N/m3）；

——河水的密度（N/m3）。

* + 1. 采用石笼护基或护底时，石笼基底应铺0.2m～0.4m的平整垫层，若地基为基岩，可将石笼用钢筋锚固在基岩上，根据需要可对石笼进行灌浆处理。
    2. 护底石笼的顺水流平铺段长度应大于石笼顶面至设计洪水冲刷线深度的1.5倍。
    3. 当冲刷深度较大或常水位水深较大时，宜采用混凝土板之间铰连接的柔性混凝土防护板，铺设于护岸基础处或作护底用。混凝土防护板的厚度可按本标准4.3.11规定计算确定；其中，取混凝土防护板的重度，值取0.3。
    4. 柔性混凝土板的护底垂直河流的平铺长度可按式4.3.15计算，并应符合本标准4.3.5、4.3.13的要求：

 （4.3.15）

式中：——平铺长度（m）；

——边坡系数，按1.0～0.5取用；

——防护深度（m），根据冲刷确定；

——安全长度（m），可取2.0m。

# 定向钻穿越设计

## 一般规定

* + 1. 穿越断面应选择在水域形态稳定的地段，两侧场地应满足布设钻机、泥浆池、材料堆放和管道组焊的要求。
    2. 当定向钻穿越岩石层、卵砾石层等对管道存在划伤可能的地层时，应采取措施保护管道不受损伤，其防腐层或外层保护层应耐划伤。
    3. 穿越管段应根据地基土层的稳定性和密实性，采取防止地表塌陷的措施。
    4. 在定向钻穿越的管段上，除管端封头外不应有任何附件焊接在管体上。若需在水域两侧设止水环，可在回拖完成后在穿越管段两端设置，并应保持防腐涂层的完整。
    5. 定向钻穿越施工应采用环保型泥浆，并应循环使用。
    6. 管道回拖经计算需要采取降浮措施时，宜内设充水管。

## 敷设要求

* + 1. 定向钻穿越的入土角宜为6º～20º，出土角宜为4º～16º，应根据地质条件、穿越管径、穿越长度、管段埋深和弹性敷设条件确定。
    2. 定向钻穿越弹性敷设段曲率半径不宜小于1500倍钢管外径；且不应小于1200倍钢管外径。
    3. 当定向钻采用复合曲线弹性敷设时，该段曲线的曲率半径宜按下式计算：

（5.2.3）

式中：——复合曲线的曲率半径（m）；

——平面曲线的曲率半径（m）；

——竖向曲线的曲率半径（m）。

* + 1. 穿越深度应符合下列规定：

1 水域穿越管段管顶埋深不宜小于设计洪水冲刷线或疏浚深度线以下6m；

2 穿越铁路、公路、堤防建（构）筑物时，穿越深度应符合铁路、公路、堤防的技术规定；

3 穿越管段埋设深度应避开挖砂、采石、抛锚作业的影响。

* + 1. 管道并行或交叉穿越时，应符合下列规定：

1 水平并行穿越时，净距不宜小于8m；

2 管道交叉或上下并行穿越时，净距不宜小于6m；

3 多条管道同孔穿越时，穿越曲线应考虑管道组合刚度的影响。管道回拖时，应采取措施避免管道相互缠绕、刮擦和挤压。

* + 1. 定向钻不宜在卵石层、砾石层以及破碎硬质岩石层中穿越。当出、入土管段穿过一定厚度的卵、砾石地层时，宜选择采取套管隔离、注浆固结、开挖换填等措施处理
    2. 一次穿越距离过长或穿越出、入土点两侧均有套管时，宜采用导向孔对穿工艺施工。

## 管段计算

* + 1. 管段承受的作用与组合宜按本标准第3.2节的规定，根据实际发生的条件选取。
    2. 定向钻穿越管段的强度核算宜按本标准第3.3节相关规定进行。
    3. 穿越管段回拖时，钻机最大回拖力可按下式计算值的1.5倍～3.0倍选取。

（5.3.3）

式中：*FL*——计算的拉力（kN）；

*L*——穿越管段的长度（m）；

*f*——摩擦系数，取0.3；

*D*——管身外径，包含钢管外径及保温层厚度，（m）；

*Ds*——钢管外径（m）；

*δ*——钢管壁厚（m）；

*γm*——泥浆重度（kN/m3），可取10.5～12.0；

*γs*——钢管重度（kN/m3），取78.5；

*Wf*——回拖管道单位长度配重（kN/m）,当管道在泥浆中的净浮力大于2kN/m时，宜采取配重措施；

*K*——粘滞系数（kN/m2），取0.18。

* + 1. 穿越管段在扩孔回拖时，应按下列公式核算空管在泥浆压力作用下的径向屈曲失稳。

 （5.3.4-1）

 （5.3.4-2）

 （5.3.4-3）

 （5.3.4-4）

 （5.3.4-5）

（5.3.4-6）

式中：*Ps*——泥浆压力（MPa）；

——钢管屈服强度（MPa）；

*Pyp*——穿越管段所能承受的极限外压力（MPa）；

*Pcr*——钢管弹性变形临界压力（MPa）；

*Es*——钢管弹性模量（MPa），取2.1×105；

——钢管壁厚（mm）；

*D*——钢管外径（mm）；

——泊松比，取0.3；

*f0*——钢管椭圆度，取0.01；

*γm*——泥浆重度（kN/m3），可取10.5～12.0；

——穿越轴线的高差（m）。

# 隧道穿越设计

## 一般规定

* + 1. 隧道位置的选择应符合下列规定：

**1** 隧道位置的选定应根据洞口地形、地质、交通、弃渣场地、施工条件、周围环境条件及要求确定；

**2** 隧道穿越方案，应通过区域工程地质调查、测绘、结合管道线路以及隧道施工、使用条件进行多方案技术经济比选确定；

**3** 水域隧道工程不应影响堤防及附近建构筑物的安全,并应根据已规划尚未建设的建构筑物对隧道结构的影响确定；

**4** 对需要设置辅助坑道和使用通风设施的隧道，应分析设置条件和要求。

**5** 水域隧道竖井宜选择在30m范围内无永久性建构筑物的地方。

* + 1. 隧道轴线应选择在稳定的地层中，宜避开溶洞、暗河、煤层采空区。水下矿山法隧道，宜在中、微风化岩层中通过，并应避开岩溶发育地层。
    2. 隧道结构的设计，应减少施工中和建成后对环境造成的不利影响；同时分析因隧道建设造成周围环境的改变对结构的作用。
    3. 隧道结构的净空尺寸应满足隧道施工、管道安装、运营管理的要求，并应分析施工误差、结构变形和位移的影响。
    4. 水域盾构、顶管隧道上部所需覆土层的最小厚度，应根据工程地质、水文地质条件、设备类型因素决定，大中型穿越工程隧道上部覆土厚度不应小于2.0倍隧道外径，且隧道顶埋深应低于设计冲刷线或设计疏浚线下1.5倍隧道外径；小型穿越工程河床内覆土厚度不宜小于1.5倍隧道外径，且隧道顶埋深应低于设计冲刷线或设计疏浚线下1.0倍隧道外径
    5. 隧道埋深应满足抗漂浮要求。对于冲淤变化大、砂土液化、挖砂取石、船舶抛锚水域的隧道，应增大埋深。
    6. 隧道结构应按施工和正常使用阶段进行强度、刚度和稳定性计算。对于混凝土结构，应进行抗裂验算或裂缝宽度验算。
    7. 隧道弃渣设计时，应合理选择弃渣场地，支挡构筑物结构设计应满足设计洪水下的安全要求，渣场综合布置与植被恢复应符合环保及水土保持要求。
    8. 隧道设计、施工应贯彻环境保护的原则，采用环保型泥浆并应循环使用，废弃泥浆处理应达标并定点排放。
    9. 隧道施工时应进行围岩及衬砌结构变形监测和施工环境监测。
    10. 按极限状态法设计时，隧道结构安全等级划分应符合表6.1.11的规定。

**表6.1.11隧道安全等级**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 安全等级 | 重要性系数 | 适用范围 |
| 一级 | 1.1 | 长江、黄河、松花江、辽河、海河、珠江、淮河七大河流的干流河道的输气管道干线、支干线大型穿越工程 |
| 输油管道大型穿越工程 |
| 环境敏感区及国际性河流的输油管道穿越工程 |
| 二级 | 1.0 | 除一级以外的穿越工程 |

* + 1. 隧道穿越防洪堤时，应按堤防管理部门要求对大堤进行沉降观测，并控制沉降量。

## 作用与作用组合

* + 1. 隧道结构上的作用分类宜按表6.2.1进行。在确定作用的数值时，应综合施工和使用年限内发生的变化情况，符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》 GB 50009的有关规定。

**表6.2.1隧道结构上的作用分类**

| 作用分类 | 作用名称 |
| --- | --- |
| 永久作用 | 隧道结构自重 |
| 隧道填充物自重 |
| 隧道铺底混凝土自重 |
| 围岩（地层）压力 |
| 土压力 |
| 结构上部或破坏棱体范围的设施及建筑物压力 |
| 水压力及浮力 |
| 预加应力 |
| 混凝土收缩及徐变影响 |
| 地基下沉影响 |
| 管段自重（包括管身结构自重、配重层重、保温层重、输送介质自重） |
| 可变作用 | 地面临时堆载（或施工车辆荷载） |
| 地面交通车辆荷载 |
| 施工荷载（包括千斤顶顶力、灌浆压力） |
| 温度作用 |
| 冻胀力 |
| 试运行、试压水重与内压力 |
| 检修荷载 |
| 清管荷载 |
| 偶然作用 | 落石冲击力 |
| 地震作用 |

注：1 盾构、顶管隧道结构设计计算时，应验算施工状态下千斤顶额定顶力及其偏心弯矩对盾构管片或顶进管道的影响，偏心量可按20mm验算；

2 盾构环片拼装起吊作用可按2.5倍最大管片的重量产生的拉力来核算抗拔阻力；

3 注浆压力根据隧道工法不同，可选用不同的注浆压力，通常比施工时水头压力高0.05 MPa~0.10MPa，并根据实际情况调整。

* + 1. 作用在结构上的水压力，应根据施工阶段和长期使用过程中地下水位的变化幅度，区分不同的围岩条件，按静水压力或把水作为土的一部分计入土压力。
    2. 作用于山岭隧道衬砌上的偏压压力，应根据地形、地质条件、围岩分级以及外侧围岩的覆土厚度、地面坡度确定。
    3. 矿山法隧道穿越结构设计宜采用破损阶段法。在隧道结构上可能同时出现的永久荷载、可变荷载和偶然荷载应分别按承载能力和满足正常使用要求进行组合，按最不利组合进行荷载计算与结构设计，并应符合现行行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003的有关规定。
    4. 顶管、盾构隧道穿越结构设计采用极限状态法计算时，隧道结构应根据运营（包括检修）、施工（包括管道清管、试压）各阶段不同设计工况结构上可能同时出现的作用，按承载力极限状态和正常使用极限状态分别进行作用组合，取各自最不利作用组合进行设计，并应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的有关规定。
    5. 矿山法深埋隧道的衬砌作用宜按本标准附录A的要求计算确定，浅埋隧道的衬砌作用宜按本标准附录B的要求计算确定，偏压隧道的衬砌作用宜按本标准附录C要求计算确定。
    6. 对稳定性有严格要求的钢拱架和截面厚度大、变形受约束的结构，均应计算温度变化和混凝土收缩徐变的影响。
    7. 结构构件就地建造或安装时，作用在构件上的施工作用，应根据施工阶段、施工方法和施工条件确定。
    8. 在最冷月平均气温低于－15℃地区和受冻害影响的隧道，宜根据当地的自然条件、围岩冬季含水量资料通过计算确定冻胀力。
    9. 结构计算时灌浆压力应按灌浆机械可能使用的最大作用力计算确定。

## 矿山法隧道设计

* + 1. 矿山法隧道分为山岭矿山法隧道和水域矿山法隧道。水域和山体相连需要采用隧道穿越时，宜连续穿越。
    2. 隧道平面设计宜采用直线型，根据管线路由、洞身覆盖层厚度、管道补偿要求和洞口的位置，也可采用折线型，折线处转角、曲率半径应满足施工布管要求。
    3. 山岭隧道纵断面设计应符合下列规定：

1 隧道内的纵坡可采用“人”字坡、单面坡或“V”字坡，地下水发育的隧道宜采用 “人”字坡；

2 纵向坡度不应小于3‰，寒冷地区隧道纵向坡度宜适当加大，不宜大于15%。

* + 1. 山岭隧道洞口位置应符合下列规定：

1 隧道洞口位置应根据地形、地质、水文条件，同时结合管道施工、隧道轴线和坡度、进场道路、弃渣场位置和排水等因素，通过综合分析比较确定；

2 应遵循“早进洞、晚出洞”的原则，合理选定洞口位置，避免在洞口形成高边坡和高仰坡；

3 隧道进出口应高于山沟设计泄洪水位。在泥石流影响区内应防止其堵塞隧道进出口。

4 隧道进出口高程应满足管道输送工艺系统的要求。

* + 1. 山岭隧道洞口工程的设计应符合下列规定：

1 洞口宜与坡面正交，斜交时应根据地形地质条件采取处理措施；

2 当洞口处有坍方、落石、泥石流时，应采取清刷、延伸洞口、设置明洞或支挡构筑物措施；

3 隧道洞口边坡、仰坡根据洞门结构形式设计，采取加固防护措施，宜采用绿化护坡；

4 隧道洞口应设洞门封堵。

* + 1. 山岭隧道设计下列情况宜设明洞：

1 洞顶覆盖层薄，难于采用暗挖法施工的；

2 隧道洞口存在边坡坍方、岩堆、落石、泥石流不良地质的危害的；

3 为了保护洞口的自然景观不改变自然边坡的；

4 有检修车辆通行要求的；

5 管道敷设有特殊要求的。

* + 1. 隧道应设衬砌。对于净宽度不大于5m的隧道，Ⅵ级、V级及地下水发育的IV级围岩段应采用复合式衬砌，地下水不发育的IV级围岩段隧道可采用喷锚衬砌或复合式衬砌，Ⅰ、II、Ⅲ级围岩段隧道宜采用喷锚衬砌；对于净宽度大于5m的隧道，应进行专项设计。
    2. 衬砌结构的型式及尺寸，应根据使用要求、工程地质和水文地质条件、埋置深度、结构工作特点，结合施工条件，通过工程类比和结构计算确定，必要时，还应经过试验验证。
    3. 隧道衬砌设计应符合下列规定：

1 宽度不大于5m的隧道宜采用直墙式衬砌，宽度5m及以上的隧道可根据围岩类别计算采用直墙圆拱或曲墙型式；

2 因地形或地质构造引起有明显偏压的地段，应采用偏压衬砌；Ⅳ级围岩的偏压衬砌宜采用钢筋混凝土结构、Ⅴ、Ⅵ级围岩的偏压衬砌应采用钢筋混凝土结构；

3 隧道洞口段衬砌应加强，加强长度应根据地质、地形条件确定，隧道洞口加强衬砌长度应不小于5m且不小于一倍洞径；

4 围岩较差地段的衬砌应向围岩较好地段延伸，延伸长度宜为5m～10m；

5 偏压衬砌段应延伸至一般衬砌段内5m以上；

6 软硬地层分界处、明暗洞分界处、活动断裂地段等位置，应设置变形缝。

* + 1. 复合式衬砌设计应符合下列规定：

1 衬砌设计应包括围岩在内的支护结构、断面形状、开挖方法、施工顺序和开挖后支护与衬砌的断面闭合时间因素，充分发挥围岩的自承能力；

2 衬砌的初期支护宜采用喷锚支护，二次衬砌宜采用模筑混凝土；

3 衬砌的设计参数宜采用工程类比法确定，必要时通过理论分析进行验算。当无类比资料，二衬采用模筑混凝土时，可按表6.3.10的设计参数选用，并根据现场围岩量测信息对支护参数进行调整。

**表6.3.10复合式衬砌的设计参数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 围岩  级别 | 初期支护 | | | | | | | 二次衬砌厚度（mm） | |
| 喷射混凝土厚度（mm） | | 锚杆 | | | 钢筋网  （mm） | 钢架间距（m） | 拱、墙 | 底板或仰拱 |
| 拱、墙 | 仰拱 | 位置 | 长度(m) | 间距(m) |
| Ⅲ | 50～80 | － | 局部设置 | 1.5～2.0 | 1.2～1.5 | 必要时设置@250×250 | 不设 | 200 | － |
| Ⅳ | 80～100 | － | 拱、墙 | 2.0～2.5 | 1.0～1.2 | 必要时设置@250×250 | 不设 | 200～250 | 200 |
| Ⅴ | 200～220 | 200～220 | 拱、墙 | 2.5～3.0 | 0.8～1.0 | @200×200 | 0.6～1.0 | 250～300 | 250～300 |
| Ⅵ | 通过试验确定 | | | | | | | | |

注：1 地下水较发育时，锚杆间距可取小值，其它参数可取大值；无地下水或地下水较小时，锚杆间距可取大值，其它参数可取小值；

2衬砌参数根据隧道净宽确定，大于3m的取上限，小于或等于3m的取下限；

3 V级围岩，不设置钢拱架的部位，喷射混凝土厚度可为100-120mm。

* + 1. 喷锚衬砌设计应符合下列规定：

1 喷锚衬砌内部轮廓应预留50mm～100mm作为必要时补强用；

2 喷锚衬砌应采用无碱湿喷混凝土工艺；上层喷锚工序与初期支护喷锚工序应跟进及时；

3 遇下列情况不宜采用喷锚衬砌：

1）地下水发育或大面积淋水地段；

2）能造成衬砌腐蚀或膨胀性围岩的地段；

3）最冷月平均气温低于－15℃的地区的隧道洞口段；

4）有其他特殊要求的隧道。

4喷锚衬砌的支护参数可通过工程类比或数值计算确定，并结合施工期间现场监控量测情况进行调整。当无类比资料，I～Ⅲ围岩段可按表6.3.11选用。

表6.3.11喷锚衬砌的设计参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 围岩级别 | I～Ⅱ | Ⅲ |
| 设计参数 | 喷射混凝土厚度50mm～80mm | 喷射混凝土厚度80mm～100mm，拱部设置锚杆和钢筋网，锚杆长2.0m～2.5m，间距1.2m～1.5m。 |

注：钢筋网保护层厚度不应小于30mm。

* + 1. 初期支护的组成应根据围岩的性质及状态、地下水情况、隧道断面尺寸及其埋置深度条件确定，并应符合下列规定：

1 系统锚杆应沿隧道周边在岩面上按梅花形均匀布置，其方向应接近于径向或垂直岩层，并应根据使用目的和围岩性质及状态确定锚杆的类型、锚固方式、长度，对自稳时间短、初期变形大的软弱围岩地层，应采用长锚杆或自钻式锚杆注浆加固围岩；

2 软弱围岩地层，或对地面下沉量有严格限制时，应设置钢架增强初期支护刚度。初期支护钢架，根据隧道断面尺寸及地质情况可选用钢筋格栅钢架或型钢钢架；

3 松散、破碎或膨胀性围岩中初期支护喷射混凝土中应铺设钢筋网片，喷混凝土厚度不宜小于100mm，钢筋网应以直径6mm～8mm的钢筋焊接而成，搭接长度不应小于1个网孔。

* + 1. VI级围岩隧道应设置钢筋混凝土仰拱结构。衬砌仰拱应具有与其使用目的相适应的强度、刚度和耐久性，仰拱厚度宜与拱、墙厚度相同，在软弱围岩有水地段或最冷月平均气温低于－15℃地区的洞口段，仰拱应加强。
    2. 隧道底板设计应符合下列规定：

1 I～II级围岩隧道可不设底板；

2 III～Ⅳ级围岩隧道的底板可采用素混凝土结构；

3 V级围岩隧道的底板宜采用钢筋混凝土结构；

4 隧道底板厚度不宜小于200mm；

5 底板水沟断面尺寸应根据隧道出水量、坡度计算确定，应满足排水要求。

* + 1. 符合下列条件的水域穿越可采用矿山法隧道设计方案：

1 地表下岩层分布较浅；

2 岩体RQD值不小于50%；

3 节理裂隙不发育、断层破碎带较少；

4 水下段主体围岩分级为I～IV级。

* + 1. 水域隧道平巷段坡比不宜小于5‰；斜巷与平巷结合段宜设马头门，马头门尺寸应满足管道施工要求。
    2. 水域隧道应采用复合式衬砌结构；衬砌应采用防水混凝土，抗渗等级不应低于P8，衬砌及底板厚度不应小于250mm。
    3. 水域隧道设计应采取下列施工防水、防坍塌措施：

1 留设隔水岩层；

2 超前探水；

3 超前地质预报；

4 注浆堵水。

## 盾构隧道设计

* + 1. 盾构隧道设计应依据工程地质、水文、环境、穿越工程条件进行，并应与其他可能的穿越方式作技术、经济比较。
    2. 盾构隧道纵断面布置应符合下列规定：

1 隧道的坡度不宜超过5%，且不宜小于3‰；轴线曲率半径应满足管道安装及受力要求，且应满足盾构掘进施工曲率半径要求；

2 防洪堤脚下部隧道埋深不宜小于3倍隧道外径，并应避开堤防基础或其它构筑物及其影响；

3 盾构机进洞、出洞宜避开强透水层，当不能避开时，应做地层改良或采取其它防涌水措施；

4 隧道穿越宜避开软、硬频繁变化的地层交界层位；

5 隧道不宜长距离在卵石地层中穿越，并宜避开岩溶发育地层。

* + 1. 隧道平面线形宜采用直线。当采用曲线时，曲率半径不宜小于40倍盾构外径，并应满足隧道内管道安装要求。
    2. 盾构机选型应根据工程地质、水文地质条件，经工程经济、技术比选后确定，水域穿越宜优先采用泥水平衡式盾构机。
    3. 盾构施工的隧道衬砌设计应符合下列规定：

1 在满足工程使用、结构受力的前提下，宜选用装配式单层环片结构；

2 宜采用圆形结构；

3 装配式衬砌接头宜采用具有一定刚度的柔性结构，应限制接缝张开与错动量，满足受力和防水要求。

* + 1. 隧道结构的计算模式应根据地层情况、衬砌构造特点及施工工艺确定。在岩石中应结合衬砌与围岩共同作用及装配式衬砌接头影响确定计算模式；在软土地层中衬砌结构应计算环间剪力传递的影响。
    2. 修正惯用计算法管片截面内力可按本标准附录D的规定计算。
    3. 隧道应进行抗漂浮稳定性及地基承载力验算，并应符合下列规定：

1 隧道抗漂浮系数不应小于1.15；

2 地基承载力验算包括：

1)施工时盾构机底部地基承载力验算；

2)管道试压、运营时隧道结构地基承载力验算，应以处于最不利条件的单环进行验算。

* + 1. 隧道装配式衬砌的构造应满足下列规定：

1 隧道衬砌宜采用块与块、环与环间用螺栓连接的环片，环片拼装宜采用错缝拼装方式；

2 衬砌环宽宜采用1000mm～1500mm，可能情况下宜选用较大的宽度；

3 衬砌厚度应根据隧道直径、环片材料性能、埋深、工程地质及水文地质条件，使用阶段及施工阶段的作用情况计算确定，宜为隧道外直径的0.04倍～0.10倍；

4 衬砌环的分块数量与拼接形式，应根据盾构设备性能、隧道直径和受力要求确定。

* + 1. 衬砌制作和拼装精度，应根据设备的性能及防水要求，达到能够正确拼装、整体结构受力均匀的要求。
    2. 管片应进行抗渗试验、预埋螺栓孔应进行抗拔性能试验，试验标准应符合现行国家标准《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082有关要求。
    3. 管片壁后注浆应根据工程地质条件、地表沉降状态、环境要求及设备情况选择注浆方式及注浆参数，每环管片的注浆量可按下式计算：

 （6.4.12）

式中：Q ——每环注浆量（m3）；

D ——盾构管片外径（m）；

B——盾构管片长度（m）；

t——设备外径与盾构管片外径的差值，无设备外径值时可取0.1m~0.2m；

k——填充系数，可取1.5～2.5，根据掘进地层情况确定。

## 顶管隧道设计

* + 1. 顶管隧道顶进工艺的选择，应根据穿越层位岩土性质、顶进管管径和材质、地下水位、周边地上与地下建筑物、构筑物和各种设施因素，经技术经济比较后确定，并应符合下列规定：

1 在粘性土层中需要控制地面隆陷时，宜采用土压平衡顶管；

2 在粉砂土层中需要控制地面隆陷时，宜采用加泥式土压平衡法或泥水平衡顶管；

3 在卵砾石、节理裂隙及地下水发育的破碎岩石中顶进时，宜采用泥水平衡顶管。

4 泥水平衡式顶管机在岩石中或在含有卵石、碎石的地层中顶进时，应配置能够更换刀具的密封舱，并具有适应岩层强度和岩石二次破碎功能；

5 采用气压平衡法顶进时，穿越岩土的渗透性系数不应大于10-4cm/s。

* + 1. 隧道纵断面布置应符合下列规定：

1 隧道的坡度根据顶管机的性能确定，且不宜小于3‰，宜从低端始发；

2 隧道曲线顶进曲率半径应满足管道安装及受力要求，且应满足顶进施工曲率半径要求；

3 防洪堤脚下隧道埋深不宜小于3倍隧道外径，并应避开堤防基础或其它构筑物及其影响；

4 隧道进、出洞应避开强透水层，当不能避开时，应作地层改良；

5 隧道穿越地层宜避开软、硬频繁变化的地层交界层位；

6 隧道不宜长距离在卵、砾石地层穿越，应避开岩溶发育地层。

* + 1. 顶管隧道设计计算应符合下列规定：

1 应按本标准表6.2.1要求的作用组合计算，验算顶力作用，并作为后背和顶进设施设计的依据。设计时应满足顶进过程中承受上部可变作用时的安全要求；

2 顶进工作管的允许顶力、结构的强度、顶进管道的稳定性计算应按本标准附录E规定。

* + 1. 掘进工作管的总顶力可按下式估算：

 （6.5.4）

式中：——总顶力（kN/）；

——顶进工作管外径（m）；

**——触变泥浆减阻管壁与岩土的平均摩阻力（kN/m2），可按表6.5.4-1选用；

**——顶管设计长度（m）；

*——*顶管机的迎面阻力，可按表6.5.4-2选用*。*

**表6.5.4-1 触变泥浆减阻管壁与岩土的平均摩阻力（kN/m2）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土的种类 | | 软粘土 | 粉性土 | 硬黏土 | 粉细砂 | 中粗砂 | 卵砾石 | 岩石 |
| 触变泥浆 | 混凝土管 | 3~5 | 6~8 | 6~8 | 8~11 | 11~16 | 11~18 | 3~18 |
| 钢管 | 3~4 | 4~6 | 4~6 | 7~11 | 10~14 | 10~14 | 3~14 |

**表6.5.4-2 顶管机的迎面阻力计算公式**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 顶管机端面 | 常用机型 | 迎面阻力*NF*(kN) | 式中符号 |
| 网格加气压 | 气压平衡式 |  | -网格截面系数，可取0.6～1.0  -气压（kN/m2） |
| 大刀盘切削 | 土压平衡式  泥水平衡式 |  | -土的重度（kN/m3）  -覆盖层厚度（m） |

注：1. *Dg*—顶管机外径，m；

2 .R—挤压阻力（kN/m2），土层可取R=300～500；岩石可取R=1000～1500。

* + 1. 中继站的设置应符合下列规定：

1 当估算的总顶力大于套管的允许顶力或大于工作井允许顶力设计值时应设置中继站。

2 应根据估算总顶力、管材允许顶力、工作井允许顶力和主顶千斤顶的顶力四者比较确定，应取最小值作为控制顶力。

3 中继站顶力裕量，第一个中继站不宜小于40%，其余不宜小于30%。

* + 1. 水域穿越顶进钢筋混凝土管结构抗渗等级、接口形式及质量要求应符合现行国家标准《混凝土和钢筋混凝土排水管》GB/T 11836 III级管的有关要求。

## 竖井工程

* + 1. 井筒断面形式应根据地质条件、隧道施工设备尺寸、竖井深度、管道安装和施工因素确定，宜选用圆形，当隧道施工设备及施工条件有其他要求时，亦可选用矩形或多边形断面。
    2. 沉井深度不宜大于50m。
    3. 沉井应进行结构计算、下沉验算及抗浮稳定性验算，必要时尚应进行抗倾覆和滑移验算。
    4. 沉井刃脚应按下列情况验算：

1 沉井下沉过程中，应根据沉井接高的具体情况取最不利位置，按刃脚切入土中1m验算刃脚向外弯曲强度。作用在井壁上的土压力和水压力根据下沉时的具体情况确定，作用在井壁外侧的计算摩擦力不应大于0.5倍井壁外侧的主动土压力；

2 当沉井下沉至设计高程且刃脚下的土已掏空时，应验算刃脚向内弯曲强度。此时作用在井壁上的水压力，按设计和施工中的最不利水压力计算，土压力按主动土压力计算。

* + 1. 沉井井壁应按竖直方向和水平方向分别进行验算，并应符合下列规定：

1 在竖直方向上，应按沉井外侧四周作用由摩阻力把沉井箍住，刃脚下土已挖空进行井壁垂直拉应力验算，混凝土沉井接缝处拉应力由接缝钢筋承受，并验算钢筋的锚固长度；

2 在水平方向上，应按本标准第6.2.1条的水平作用，将沉井作为水平框架进行验算。在验算刃脚斜面以上高度等于该处壁厚的一段井壁时，除承受该段井壁范围内的水平作用外，还应承受由刃脚悬臂传来的水平力。

* + 1. 沉井的平面尺寸应根据隧道施工设备、管道施工要求和地基容许承载力确定，并应符合阻力较小、受力合理、简单对称和施工方便的要求。
    2. 矿山法施工的竖井采用复合式衬砌或喷锚衬砌时，其支护参数可采用工程类比法或理论分析计算确定。
    3. 矿山法施工竖井的衬砌设计应符合下列规定：

1 复合式衬砌应结合开挖方法、施工顺序、支护结构等因素进行设计，并应充分发挥围岩的自承能力；

2 复合式衬砌的初期支护宜采用喷射混凝土、锚杆或钢架为主要支护手段；二次衬砌宜采用模筑混凝土。

* + 1. 当采用地下连续墙、钻孔咬合桩、型钢水泥土搅拌墙等作为竖井围护结构时，围护结构与内衬墙宜按照共同承担受力进行设计。墙体的结合方式根据使用、受力及防水要求，宜选用叠合式或复合式构造。当满足耐久性要求时，宜将地下连续墙作为主体结构的单一侧墙。
    2. 围护结构应符合下列规定：

1 根据工程特点、工程地质、水文地质条件和环境保护要求确定其安全等级、地面允许最大沉降量和围护墙的水平位移控制要求，选择支护形式、地下水处理方法和基坑保护措施；

2 桩、墙式围护结构的设计应根据设定的开挖工况和施工顺序按竖向弹性地基梁模型逐阶段计算其内力及变形。当计入支撑作用时，应计入每层支撑设置时墙体已有的位移和支撑的弹性变形；

3 在确定计算土压力时，应综合围护墙的平面形状、支撑方式、受力条件及基坑变形控制要求因素，墙背土压力宜按随开挖过程变化的方法确定；

4 在软土地层中，桩、墙式围护结构水平基床系数的取值宜根据挖土方式、时限、支撑架设顺序及时间影响确定；

5 竖井基坑应进行抗滑移和倾覆的整体稳定性、基坑底部土体抗隆起以及抗渗流稳定性验算。

* + 1. 地下连续墙应符合下列规定：

1 地下连续墙单元槽段的长度和深度，应根据竖井结构的使用要求和结构特点、工程地质和水文地质条件、施工条件和施工环境因素以及类似工程的实际经验确定，必要时应进行现场成槽试验；

2 地下连续墙相邻墙段之间宜采用不传力的接缝方式，当有特殊要求时，接缝构造应满足传力和防水要求。接缝位置应与竖井内部结构相接处错开；

3 当地下连续墙与主体结构连接时，预埋在墙内的受力钢筋、钢筋连接器或连接板锚筋，均应满足受力和防水要求，其锚固长度应符合构造规定；

4 地下连续墙应进行纵向、横向内力计算及抗隆起稳定性验算；

5 现浇地下连续墙的混凝土强度等级不应低于C25。

* + 1. 钻孔咬合桩应符合下列规定：

1 应进行正截面和斜截面承载能力计算；

2 应根据支护结构的抗隆起、抗滑移、抗倾覆及整体稳定性计算确定嵌固深度。

* + 1. 型钢水泥土搅拌墙应符合下列规定：

1 型钢水泥土搅拌墙适用于填土、淤泥质土、粘性土、粉土、砂性土、饱和黄土地层。对淤泥、泥炭土、有机质土以及地下水具有腐蚀性和无工程经验的地区，应通过现场试验确定其适用性；

2 型钢水泥土搅拌墙中三轴水泥土搅拌桩的直径宜采用650mm、850mm、1000mm；内插型钢宜采用H型钢；

3 型钢水泥土搅拌墙的选型应根据竖井开挖深度、周边的环境条件、场地工程地质和水文地质条件、竖井形状与规模、支撑或锚杆体系的设置情况综合确定；

4 型钢水泥土搅拌墙的计算变形容许值应根据周边环境条件和竖井开挖深度综合确定；

5 型钢水泥土搅拌墙的墙体计算抗弯刚度，只应计算内插型钢的截面刚度。在进行支护结构内力和变形计算以及竖井抗隆起、抗倾覆、整体稳定性等各项稳定性分析时，支护结构的深度应取型钢的插入深度，不应计入型钢端部以下水泥土搅拌桩的作用；

6 水泥土搅拌桩的入土深度，除应满足型钢插入要求外，尚应满足竖井抗渗流稳定性的要求。

## 斜巷工程

* + 1. 斜巷口底板高程应高出所在位置设计洪水水位以上0.5m；当不满足要求时，应采取防洪措施。
    2. 斜巷设计坡度应根据提升量、斜巷长度、坡度及洞口地形确定，并应符合下列规定：

1 采用箕斗提升，不应大于35°；

2 采用串车提升，不应大于25°；

3 采用胶带输送机提升，不应大于15°。

* + 1. 斜巷内采用有轨运输作业时，斜巷纵向坡度不宜采用变坡设计。
    2. 斜巷应设置宽度不小于0.7m的人行道；当斜巷长度每超过50m时，应设置躲避洞，躲避洞的净空尺寸宽、深、高分别不宜小于1.5m、1.0m、1.8m；当斜巷坡度大于15°时，应设置台阶及扶手。
    3. 斜巷底部的马头门应能满足隧道内所需的材料、设备及管道运输通过的要求。
    4. 斜巷的支护衬砌设计规定应按照本标准第6.3节相关要求执行。
    5. 斜巷进、出口段和地质较差的地段，宜采用复合式衬砌；马头门应根据围岩级别进行衬砌设计；井口段、通过地质较差的井身段及马头门的上方宜设壁座。
    6. 斜巷底部应根据设计涌水量选择集、排水方式和相应的设施。

## 工程材料

* + 1. 隧道结构的工程材料应根据结构类型、受力条件、使用要求和所处环境因素选用，并应符合可靠性、耐久性和经济性要求。所用的工程材料，均应符合国家现行有关标准。
    2. 混凝土的原材料和配比、最低强度等级、最大水灰比和单方混凝土的胶凝材料最小用量应符合耐久性要求，满足抗裂、抗渗、抗冻和抗侵蚀的需要。隧道结构设计混凝土的最低设计强度等级应符合表6.8.2的规定。

**表6.8.2隧道设计混凝土的最低设计强度等级**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 矿山法隧道 | 喷锚衬砌/喷锚支护 | C20/C25 |
| 混凝土/钢筋混凝土衬砌 | C25/C30 |
| 盾构隧道 | 装配式钢筋混凝土管片 | C50 |
| 顶管隧道 | 钢筋混凝土套管 | C50 |

* + 1. 工程所用钢材应符合国家现行有关标准的规定，其许用拉应力和许用压应力不应超过其规定最低屈服强度的60％，许用剪应力不应超过其规定最低屈服强度的45％，支承应力不应超过其规定最低屈服强度的90％。
    2. 混凝土和喷锚支护结构中的钢筋宜采用HRB500、HRB400、HPB300级钢。
    3. 钢筋混凝土管片间的螺纹紧固件的连接形式及其机械性能等级应满足构造和结构受力要求，表面应进行防腐蚀处理。
    4. 喷锚支护喷射混凝土应采用湿喷；速凝剂宜采用无碱系列环保型产品，水泥强度不宜低于42.5级。
    5. 初期支护的钢架宜采用型钢、钢筋或钢管制成，钢管和型钢以及锚杆垫板材质宜为Q235A。
    6. 隧道防水材料应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108的规定。

## 防水与排水

* + 1. 隧道防水应以结构自防水为主，接缝防水为重点，特殊部位应采取加强防水措施，形成完整的防水体系。
    2. 隧道防水等级分为一、二、三、四级，各等级的防水标准应符合表6.9.2的规定。

**表6.9.2防水等级标准**

|  |  |
| --- | --- |
| 防水等级 | 标准 |
| 一级 | 不允许渗水，结构内缘表面无湿渍。 |
| 二级 | 不允许漏水，结构内缘表面可有少量因渗水形成的湿渍或水膜；总湿渍面积不大于总  防水面积的2/1000；任意 100 ㎡防水面积上的渗水不超过3处，其单个形成的湿渍或  水膜面积不大于 0.2 ㎡；平均渗入水量不大于 0.05L/㎡·d，任意 100 ㎡防水面积上的  渗入水量不大于 0.15L/㎡·d。 |
| 三级 | 有少量漏水点，不得有线流和漏泥沙，安装设备的孔眼不渗水；任意 100 ㎡防水面积  上的漏水点、渗水形成的水膜或湿渍不超过 7 处；单个湿渍或水膜面积不大于 0.3 ㎡，  单点漏水量不得大于 2.5L/d。 |
| 四级 | 有漏水点，不得漏泥沙。 |

* + 1. 隧道防水等级应根据工程的重要性、使用功能、管道运营安全保障等要求确定。隧道最低防水等级应符合表6.9.3的规定。

**表6.9.3 隧道最低防水等级表**

|  |  |
| --- | --- |
| 隧道型式 | 最低防水等级 |
| 山岭矿山法隧道 | 四级 |
| 水域矿山法隧道 | 三级 |
| 盾构隧道 | 三级 |
| 顶管隧道 | 三级 |

注1：对于水域穿越干式运营隧道，防水等级宜为二级。

2：对于工程需要、周边排水条件苛刻的隧道，防水等级可根据工程适当提高。

* + 1. 隧道防水与排水应符合下列规定：

1 有冻害地段的隧道衬砌背后不积水，凝冻季节洞口应封闭，排水沟不冻结；

2 隧道修建及运营中的排水有可能影响周围环境的，应采取防止水土流失、保证水系正常流动的措施。

* + 1. 矿山法隧道应采取以下防水措施：

1 山岭隧道衬砌防水应充分利用混凝土结构的自防水能力，其抗渗等级不应低于P6。水域隧道应根据运营管理需要和埋置深度采用抗渗等级，不应低于P8。地下水发育地段的隧道及在有冻害和最冷月平均气温低于-15℃的地区隧道防水混凝土的抗渗等级应提高；

2 防水混凝土结构厚度不应小于250mm，裂缝宽度不应大于0.2mm，并不应贯通。当衬砌为钢筋混凝土时，迎水面钢筋保护层厚度不应小于50mm。

3 复合衬砌初期支护与二次衬砌之间可铺设防水板或系统盲管、盲沟，当不具备自然外排水条件时，不宜设置纵向盲管；

5 围岩破碎、富水、易坍塌地段及地下水、岩溶发育存在突水、突泥可能的特殊地质地段应进行超前地质预报，遇水应注浆堵水或采取其它防水措施；

6 地下水有侵蚀性时，应针对侵蚀类型，采用抗侵蚀性混凝土、压注抗侵蚀浆液，敷设抗侵蚀防水层等措施；

7 最冷月平均气温低于－15 ℃地区，对地下水的处理应以堵为主。

* + 1. 矿山法隧道排水应符合下列规定：

1 隧道内宜采用自流排水，纵向排水沟坡度宜与隧道坡度一致，排水沟坡度不应小于3‰；

2 隧道和明洞的洞口应设置截水沟和排水沟，洞口边坡、仰坡应采取防护措施，防止地表水的下渗和冲刷；

3 截水沟设置应符合下列规定：

1）应设置在洞顶边仰坡外不小于5m；

2）截水沟坡度应根据地形设置，不应小于1%。当纵坡过陡时应设计急流槽或跌水连接，水沟截面尺寸根据流入截水沟的汇水区流量确定。水量大时，应根据地形将水引至沟谷或涵洞处排泄，不应对相邻工程产生冲刷等不利影响。

* + 1. 盾构及顶管隧道防水应符合下列规定：

1 钢筋混凝土管片及套管应采用防水混凝土，抗渗等级应满足隧道防水等级要求；

2 隧道防水措施选择应符合表6.9.7的规定；

**表6.9.7隧道防水措施表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 防水  措施  防水等级 | 结构自防水 | | 接缝防水 | | | | 特殊部位 | | |
| 竖井 | 管片、套管 | 弹性密封垫 | 嵌缝 | 注入密封剂 | 螺孔密封圈 | 洞门防水 | 隧道与竖井连接处 | 管片与土体的间隙 |
| 一级 | 必选 | 必选 | 必选 | 应选 | 可选 | 必选 | 必选 | 宜选 | 应选 |
| 二级 | 必选 | 必选 | 必选 | 宜选 | 可选 | 必选 | 必选 | 宜选 | 应选 |
| 三级 | 应选 | 应选 | 必选 | 宜选 | - | 应选 | 必选 | 宜选 | 应选 |

3 管片接缝应至少设置一道密封垫沟槽。密封垫沟槽应沿管片侧面成环设置；

4 管片防水构造形式、断面尺寸和材料性能，应根据隧道纵向变形允许值、衬砌环缝张开量确定；

5 钢筋混凝土套管钢承插口接头应采用橡胶密封垫填充；

6 螺栓孔、嵌缝槽部位除应满足设计要求外，应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108的有关规定；

7 当中等及以上腐蚀地层采用钢筋混凝土预制管片或套管时，其迎水面应涂抹防腐涂层；

8 管片接缝弹性密封垫应满足在设计水位下和接缝最大张开及错位下不渗漏的要求。

* + 1. 盾构及顶管机头设备进出洞防水应根据具体的地质、水文条件进行专项设计，可采用降水、地层改良、加设止水环、止水板等一项或多项措施。

## 隧道内管道安装

* + 1. 山岭隧道的平巷、斜巷内管道宜采用架空敷设或覆土敷设；水域隧道内管道宜采用架空敷设。
    2. 隧道内的管道布置应满足安装需要，除顶管隧道外，宜保留人员行走、巡检管道的空间。
    3. 隧道内的管段应根据管道输送介质压力、管段重力的轴向分力及管段安装温度与运行温度差作用进行轴向稳定性验算。
    4. 水域隧道应对内部管段进行抗漂浮核算，并应采取稳管措施。
    5. 当采用架空敷设时，宜采用滑动或滚动支座，必要时应增设导向支座。管道对接环焊缝不应设置在支座处。支座间距应满足管段的强度与稳定要求。
    6. 竖井内管道应符合下列规定。

1 宜采用支架式敷设方式，支架布置不应妨碍管道位移；

2 管道与井壁的净间距应根据管道变形计算确定，且不宜小于0.5m；

3 管道通过竖井预留洞时与洞壁的净间距应根据管道变形计算确定，且不宜小于0.25m。

* + 1. 隧道内架空安装管道的金属构件材料可选用普通钢材或不锈钢；当选用普通钢材时，所有钢构件其表面均应采用耐环境腐蚀的防腐层或设置牺牲阳极保护措施。金属构件应采用同一材质。构件设计中宜避免难于检查、清刷的死角和凹槽。
    2. 管道和管道支座、固定墩、锚固件之间应有良好的电绝缘。
    3. 水域隧道可根据运营维护需要，采取充水、空置或固态物填充的运营方案；陆上隧道洞门宜按照封闭运营进行设计。

## 隧道附属设施

* + 1. 需要维修作业或后期有安装工程的水下隧道，应设置抽排水设施。
    2. 水封运营隧道的竖井应采用可检查、维修的方式封井。
    3. 山岭隧道洞门型式应满足管道安装、检修、保护及洞内外管道连接要求，封堵洞门应设置通风口。
    4. 隧道穿越的安全防范措施，应符合国家现行规范《石油天然气管道系统治安风险等级和安全防范要求》GA 1166的规定。

# 直接铺管穿越设计

* + 1. 直接铺管的穿越长度，应根据管径、地质情况、掘进机、推管机及辅助设备的性能综合确定。
    2. 直接铺管宜穿越下列地层：

1 粘土层、粉土层、粉细砂层、中砂层；

2 粒径小于100mm的卵石地层；

3 较完整且饱和单轴抗压强度小于30MPa岩石层。

* + 1. 穿越深度应符合下列规定：

1 管道上部覆土层的厚度，河床下最小埋深应大于2倍管道外径，且冲刷线下覆土厚度大于1.5倍管道外径，并满足管道抗浮要求；

2 管道在河堤等构筑物下的埋置深度，应满足构筑物的沉降要求。

* + 1. 穿越出、入土角度应根据穿越长度、管道埋深、穿越管径、弹性敷设条件、地形条件与两侧管道连接条件确定。入土角宜为0°～15°，出土角宜为0°～12°。
    2. 穿越管段弹性敷设段曲率半径不宜小于1500D，不应小于1200D。
    3. 管段计算应符合下列规定：

1 管段承受的作用与组合宜按本标准第3. 2节的规定，根据实际发生的条件选取；

2 穿越管段的强度核算宜按本标准第3.2节相关规定进行；

3 穿越管道顶推过程应进行稳定性校核。

# 公路、铁路穿越设计

## 一般规定

* + 1. 油气管道与公路交叉穿越位置应符合下列规定：

1 宜选择在公路路基地段，当条件受限时，可选择在公路桥梁自然地面以下空间通过，与桥墩（台）的水平净距不应小于5m；

2 宜避开高填方区、路堑、路两侧为同坡向的陡坡地段。

* + 1. 油气管道与铁路交叉穿越位置应符合下列规定：

1 宜选择在铁路桥梁、预留管道涵洞等既有设施处穿越；

2 宜避开高填方区、路堑、路两侧为同坡向的陡坡地段；

3 不应在既有铁路的无砟轨道路基地段穿越，在条件受限穿越时，应进行专项设计，满足路基沉降的限制指标；

4 不应在旅客车站、编组站两端咽喉区范围内交叉，不应在牵引变电所、动车段（所）、机务段（所）、车辆段（所）围墙内交叉；

5 不宜在其他铁路站场、道口等建筑物和设备处交叉，不宜在设计时速200km及以上铁路及动车组走行线的有砟轨道路基地段、各类过渡段、铁路桥跨越河流主河道区段交叉。确需交叉时，管道和铁路设备应采取必要的防护措施；

6 管道和铁路隧道不应在隧道洞门及洞口截水天沟范围内交叉。

* + 1. 油气管道与公路、铁路交叉穿越角度应符合下列规定：

1 油气管道与公路、铁路宜垂直交叉，在特殊情况下，交叉角度不宜小于30°；

2 油气管道与公路、铁路桥梁交叉条件受限时，在对管道采取防护措施后，交叉角可小于30°；

3 管道采用顶进套管、顶进箱涵穿越铁路路基时，交叉角度不宜小于45°。

* + 1. 在穿越公路、铁路的套管或涵洞内，输送管道不宜设置水平或竖向弯管。
    2. 穿越铁路有砟轨道路基地段时，可采用顶进套管、顶进箱涵、定向钻或隧道穿越方式。管道不应在设计时速200km及以上铁路有砟道路路基地段采用定向钻方式穿越。
    3. 穿越二级及以上公路时，应采用顶进套管、定向钻穿越方式，并满足路基稳定性的要求。对三级及三级以下公路穿越，可采用开挖埋设。
    4. 公路、铁路穿越后的套管或涵洞内空间应采用砂、细土、砂浆、泡沫混凝土等材料填充。
    5. 采用钢套管穿越公路的管段，对管道阴极保护形成屏蔽作用时，应增加牺牲阳极保护。
    6. 油气管道不应利用公路、铁路的排水涵洞进行穿越。
    7. 油气管道穿越公路、铁路时，套管顶部最小覆盖层厚度应符合表8.1.10的要求。

**表8.1.10　套管顶部最小覆盖层厚度**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 穿越分类 | 位　置 | 最小覆盖层（m） |
| 铁路穿越 | 铁路路肩以下 | 2.0 |
| 自然地面以下 | 2.0 |
| 公路穿越 | 公路路面以下 | 1.2 |
| 公路边沟底面以下 | 1.0 |

* + 1. 管道穿越公路、铁路时，输送管道或套管的底部应放置在密实而均匀的地层上。
    2. 采用套管穿越公路、铁路时，套管内径应大于输送管道外径300mm以上。采用钢筋混凝土套管时内径不宜小于1m。
    3. 采用套管穿越公路、铁路时，套管长度宜伸出路堤坡脚、排水沟外边缘不小于2m；当穿过路堑时，应长出路堑顶不小于5m。被穿越的公路、铁路有扩建规划时，应按照扩建后的情况确定套管长度。
    4. 钢质套管设计应按本标准第8.2节中无套管穿越计算，套管的外径与壁厚之比不应大于70，且最小壁厚不应小于7mm。
    5. 套管中的输送管道应设置绝缘支撑，且应保持防腐涂层的完整性。
    6. 当一根套管中设置两根或者两根以上输送管道时，应使不同输送管道之间、输送管道与套管之间互相绝缘。

## 公路穿越

* + 1. 无套管穿越管段设计应进行强度、疲劳、变形、稳定性计算。
    2. 无套管穿越管段应考虑内压、温差、土压力、车辆荷载的作用与作用组合。
    3. 无套管穿越管段承受的作用与作用组合按本标准第3.2节的规定执行。
    4. 无套管穿越公路管段，车辆荷载产生的管道轴向循环应力和环向循环应力按附录G计算。
    5. 无套管穿越公路管段，应按下列方法进行管道环焊缝、直缝钢管管体纵焊缝、螺旋缝钢管管体螺旋焊缝的疲劳校核。

1 管道环焊缝疲劳应按下式进行校核。

（8.2.7-1）

式中：——车辆荷载产生的管道轴向循环应力（MPa）；

**——钢管环向焊缝耐疲劳极限值（MPa），按表8.2.7取值；

**——强度设计系数，按本标准表3.2.2选用。

2 直缝钢管管体纵焊缝疲劳应按下式进行校核。

（8.2.7-2）

式中：——管道环向循环应力（MPa）；

**——钢管纵焊缝耐疲劳极限值（MPa），按表8.2.7取值。

3 螺旋缝钢管管体螺旋焊缝疲劳应按下式进行计算和校核。

（8.2.7-3）

（8.2.7-4）

（8.2.7-5）

式中：σSh——管壁上垂直于螺旋焊缝方向的循环应力（MPa）；

σFS——钢管螺旋焊缝耐疲劳极限值（MPa），按表8.2.7取值；

β——管体螺旋焊缝与管道轴向的夹角（°）；

A——螺旋缝钢管的板卷宽度（m）；

D——钢管外径（m）。

表8.2.7　管道环焊缝、钢管管体纵焊缝和螺旋焊缝耐疲劳极限值、、

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢材等级 | 最小屈服强度  （MPa） | 最小抗拉强度  （MPa） | （MPa） | （MPa） | | （MPa） |
| 所有类型焊缝 | 电阻焊 | 埋弧焊 | 埋弧焊 |
| L175(A25) | 175 | 315 | 83 | 145 | 83 | 83 |
| L210(A) | 210 | 335 | 83 | 145 | 83 | 83 |
| L245(B) | 245 | 415 | 83 | 145 | 83 | 83 |
| L290(X42) | 290 | 415 | 83 | 145 | 83 | 83 |
| L320(X46) | 320 | 435 | 83 | 145 | 83 | 83 |
| L360(X52) | 360 | 460 | 83 | 145 | 83 | 83 |
| L390(X56) | 390 | 490 | 83 | 159 | 83 | 83 |
| L415(X60) | 415 | 520 | 83 | 159 | 83 | 83 |
| L450(X65) | 450 | 535 | 83 | 159 | 83 | 83 |
| L485(X70) | 485 | 570 | 83 | 172 | 90 | 90 |
| L555(X80) | 555 | 625 | 83 | 186 | 97 | 97 |

注：根据材料的规定屈服强度选取材料的耐疲劳极限值，材料的规定屈服强度与表中数据不完全相同时，耐疲劳极限值应选用最接近且小于材料的规定屈服强度对应钢材等级的耐疲劳极限值。

* + 1. 无套管穿越公路管段应按无内压状态校核管道的径向稳定性，径向稳定性应按下列公式计算和校核。

（8.2.8-1）

（8.2.8-2）

（8.2.8-3）

（8.2.8-4）

（8.2.8-5）

（8.2.8-6）

式中：ΔX——钢管水平方向最大变形量（m）；

D——管道外径（m）；

Z——钢管变形滞后系数，宜取1.5；

K——基床系数，宜按本标准附录H的规定选取；

W——作用在单位管长上的总竖向荷载（kN/m），应考虑土压力和车辆荷载对管道作用的叠加；

Dm——钢管平均直径（m）；

Es——钢材的弹性模量，取2.1×108kPa；

——土壤变形模量（kN/m2），应采用现场实测数，当无实测资料时，可按本标准附录H选取；

Ws——单位管长上的竖向土荷载（kN/m）；

Wci——单个车轮荷载传递到管道上的荷载（kN/m），应考虑车辆多个车轮对管道作用的叠加；

γ——土壤容重（kN/m3）；

H——管顶回填土的高度（m）；

Fc——车辆荷载冲击系数，按附录G选取；

I——单位管长截面惯性矩（m4/m）；

pi——车辆单轮对路面的压力（kN）；

r——力的作用点与管道计算压力点的水平距离（m）；

δn——钢管公称壁厚（m）。

* + 1. 采用无套管的开挖穿越管段，距管顶以上500mm处应埋设钢筋混凝土保护盖板，盖板上方应埋设警示带，盖板长度不应小于规划公路用地范围宽度以外3m，并应设置地面标识标明管道位置。
    2. 采用定向钻方式穿越公路桥梁，穿越轴线距桥梁墩台不应小于5m，桥梁下方的最小深度应大于最后一级扩孔直径的4~6倍。
    3. 采用无套管开挖穿越管段，回填土必须压实或夯实。路面恢复应达到现行行业标准《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》JTJ F80/1的要求。

## 铁路穿越

* + 1. 管道采用开挖穿越既有铁路桥梁陆地段时应符合下列规定：

1 管顶在桥梁下方埋深不宜小于1.2m，管道上方应埋设钢筋混凝土板；钢筋混凝土板的宽度应大于管道外径1.0 m，板厚不应小于100mm，板底面距管顶间距不宜小于0.5m，板的埋设长度不应小于铁路线路安全保护区范围；

2 钢筋混凝土板上方应埋设警示带；穿越段的起始点以及中间每隔10m处应设置地面穿越标识；

3 管道与铁路桥梁墩台基础边缘的水平净距不宜小于3m。

* + 1. 管道采用顶管穿越既有铁路路基时应符合下列规定：

1 套管边缘距电气化铁路接触网立柱、信号机等支柱基础边缘的水平距离不得小于3m；

2 套管顶部外缘距自然地面的垂直距离不应小于2m。套管不宜在铁路路基基床厚度内穿越；套管需要穿越铁路路基基床时，套管顶部外缘距路肩不应小于2m；

3 套管伸出路堤坡脚护道不应小于2m、伸出路堑堑顶不应小于5m，并距离路堤排水沟、路堑堑顶天沟和线路防护栅栏外侧不应小于1m；

4 套管宜采用现行国家标准《混凝土和钢筋混凝土排水管》GB/T 11836规定的III级管，并满足[铁路桥涵相关设计规范](http://code.fabao365.com/search/wd=%E9%93%81%E8%B7%AF%E6%A1%A5%E6%B6%B5%E8%AE%BE%E8%AE%A1%E8%A7%84%E8%8C%83" \t "_blank" \o "搜索：铁路桥涵设计规范)的要求；

5 顶进套管穿越铁路施工时，套管外空间不应超挖，穿越完成后应对套管外部低压注水泥浆加固，保持铁路路基的稳定状态；

6 顶管穿越工程不应影响铁路排水设施的正常使用。

* + 1. 管道采用顶进箱涵穿越铁路路基时，应符合下列规定：

1 涵洞内宜保留宽度不小于1m的验收通道，管道与管道间、管道与边墙间、管顶与涵洞顶板间的间距不宜小于0.5m，涵洞内净空高度不宜小于1.8m；

2 主体结构应伸出铁路路基边坡与涵洞顶交线外不小于2m，并不得影响铁路排水设施的正常使用；

3 结构应满足强度、稳定性、耐久性及埋置深度要求，应符合[铁路相关设计规范](http://code.fabao365.com/search/wd=%E9%93%81%E8%B7%AF%E6%A1%A5%E6%B6%B5%E8%AE%BE%E8%AE%A1%E8%A7%84%E8%8C%83" \t "_blank" \o "搜索：铁路桥涵设计规范)的规定；

4 箱涵宜采用填充方式，填充后不设检查井。涵洞内空间未填充时应在涵洞两端设检查井，检查井应有封闭设施。

* + 1. 管道采用定向钻穿越铁路应符合下列规定：

1 当定向钻穿越路基时，入土点和出土点应位于铁路线路安全保护区以外不小于5m，路肩处管顶距原自然地面的距离不应小于10m，且应在路基加固处理层以下；

2 当定向钻穿越铁路桥梁陆地段时，管道外缘距桥梁墩台基础外缘的水平净距不应小于5m，最小埋深不应小于5m，且不影响桥梁结构使用安全。

* + 1. 管道或管道隧道与铁路隧道洞身交叉时应符合下列规定：

1 管道在铁路隧道洞身上方挖沟敷设，当采取非爆破方式开挖管沟时，管沟底部与铁路隧道结构顶部外缘的垂直间距不应小于10m，输油管道在铁路隧道洞身及其两侧各不小于20m范围应采取可靠的防渗措施。当采取控制爆破手段开挖管沟时，管底与铁路隧道顶部的垂直净距不应小于20m，同时应考虑围岩条件、挖沟爆破规模及隧道结构的安全性等因素；

2 管道除采用隧道结构以外，不宜在铁路隧道下方穿越；

3 管道隧道与铁路隧道交叉时，两隧道垂直净距不应小于30m，且满足不小于3~4倍铁路隧道开挖洞径要求；两隧道净距小于50m地段，后建隧道的衬砌结构应加强。

# 焊接、试压及防腐

## 焊接、检验

* + 1. 管道焊接应按现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251、《输油管道工程设计规范》GB 50253与《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369的有关规定执行。
    2. 河流大、中型穿越管段、山岭隧道、铁路、二级及二级以上公路的穿越管段，对接接头焊缝均应进行100%射线探伤检验和100%超声波探伤检验。
    3. 采用射线探伤检验和超声波探伤检验应按现行行业标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109进行验收，Ⅱ级及以上为合格；采用全自动超声波探伤检验应按现行国家标准《石油天然气管道工程全自动超声波检测技术规范》GB 50818执行。

## 清管、测径及试压

* + 1. 穿越管段试压前应进行清管，试压后应再进行清管，输气管道应进行干燥处理。
    2. 水域大、中型穿越，山岭隧道、铁路、高速公路、一级公路穿越管段应单独进行试压。水域小型穿越管段、二级及以下的公路穿越管段，在试压条件许可的前提下可与所在线路段合并进行试压。
    3. 单独进行试压的穿越管段试压前应进行清管、测径。
    4. 穿越管段应分强度试压与严密性试压两阶段进行，严密性试压应在强度试压合格后进行。在稳压时间内压降不大于试验压力的1%，且不大于0.1MPa为合格。
    5. 穿越管段应采用无腐蚀性洁净水作为试压介质。试压时环境温度不宜低于5 oC；若环境温度在5 oC以下试压，应采取防冻措施。
    6. 单独试压的穿越管段，强度试验压力不应小于该处设计内压力的1.5倍，强度试压稳压时间不应少于4h；试压时的环向应力不宜大于钢管的屈服强度的90%。穿越管段的严密性试验的压力不应低于该处设计内压力、稳压时间不应少于24h。
    7. 重要区段的定向钻穿越管段，除应在回拖前按照本标准第9.2.3条～9.2.6条进行清管、测径、试压以外，回拖后宜进行第二次严密性试压，第二次严密性试压的压力为设计压力，稳压时间不应小于4h。
    8. 穿越管段与两端线路管段连接处的焊口不应强力组装，不应出现使连接管段发生强制变形的连接。

## 腐蚀控制

* + 1. 穿越段管道应按现行国家标准《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447进行腐蚀控制设计。
    2. 穿越段管道应根据穿越工程环境条件选取适宜的防腐涂层，且防腐层等级应为加强级。防腐涂层的结构、补口及补伤，应按管段所用防腐涂层的相关标准要求执行，并应按照管道施工安装、运营环境条件提出相应的技术要求。
    3. 管道稳管、护管或支撑等金属构件应根据所处环境采用相应的防腐蚀措施。
    4. 穿越段管道阴极保护宜利用线路段管道永久阴极保护系统，若采用独立阴极保护系统时，管道两端宜设置绝缘接头。
    5. 大中型穿越段管道的两端应设置阴极保护监测设施，小型穿越段管道可在一端设置阴极保护监测设施，或与一般线路段管道结合不单独设置该设施。
    6. 穿越段管道的稳管、护管或支撑等金属构件应与管道电绝缘，且不应损伤管道防腐涂层的完整性，也不应对管道产生阴极保护屏蔽。
    7. 穿越段管道安装前应根据防腐、防护涂层相关标准进行外观、厚度、漏点或附着力等方面的检测，并达到相应标准的检测要求；安装过程中不应损伤防腐涂层的完整性；安装完毕后应再次对管段进行检漏，检漏结果应达到所选用防腐、防护涂层等级的检测要求。对于无法进行漏点检测的水平定向钻及直铺管穿越管段，安装完毕后应根据现行国家标准《油气输送管道穿越工程施工规范》GB 50424对防腐涂层电导率进行测试和评价。

**附录A 深埋隧道衬砌作用计算方法**

**A.0.1**　矿山法深埋隧道结构衬砌计算时，围岩压力按松散土压力考虑，其垂直及水平均布压力可按下列规定确定：

1 围岩垂直均布压力宜按下列公式计算确定：

（A.0.1－1）

（A.0.1－2）

（A.0.1－3）

式中： ——围岩垂直均布压力（kPa）；

 ——围岩重度（kN/m3）；

 ——围岩压力计算高度（m）；

 ——围岩级别；

*ω*——宽度影响系数；

*B*——坑道宽度（m）；

*i*——B每增加1m时的围岩压力增减率；当B<5m时，取*i*=0.2；B>5m时，可取*i*=0.1。

2 围岩水平均布压力可按表A.0.1确定。

**表A.0.1 围岩水平均布压力**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 围岩级别 | Ⅰ～Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅴ | Ⅵ |
| 水平匀布压力 | 0 | ＜0.15 | （0.15～0.30） | （0.30～0.50） | （0.50～1.00） |

**A.0.2**　式A.0.1和表A.0.1适用条件是对于不产生显著偏压力及膨胀力的一般围岩及采用钻爆法（或敞开式掘进机法）施工的隧道。

**附录B 浅埋隧道衬砌作用计算方法**

**B.0.1**　地面基本水平的浅埋隧道，所受作用具有对称性（图B.0.1）。计算应符合下列规定：



B.0.1 地面基本水平线浅埋隧道作用计算

1 垂直压力应按下列公式计算：

 （B.0.1－1）

 （B.0.1－2）

 （B.0.1－3）

式中：——隧道宽度（m）；

 ——围岩重度（kN／m3）;

——洞顶至地面高度（m）；

 ——顶板土柱两侧摩擦角（o），为经验数值；当无实测资料时可按表B.0.1取值；

表B.0.1顶板土柱两侧摩擦角θ取值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 围岩级别 | Ⅰ～Ⅲ | Ⅳ | Ⅴ | Ⅵ |
| *θ*值 | 0.9 | （0.7～0.9） | （0.5～0.7） | （0.3～0.5） |

——侧压力系数；

——围岩计算摩擦角（o），可按表B.0.2取值；

表B.0.2围岩计算摩擦角取值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 围岩级别 | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅴ | Ⅵ |
|  | >78 | 70～78 | 60～70 | 50～60 | 40～50 | 40～50 |

——产生最大推力时的破裂角（o）。

2 水平压力应按下式计算：

　　　　 （B.0.1－4）

式中：— 内外侧任意点至地面的距离（m）。

**B.0.2** 当洞顶至地面高度h小于深埋隧道垂直作用计算高度ha时，取θ＝0，应属超浅埋隧道。

**B.0.3** 当洞顶至地面高度h大于等于2.5倍深埋隧道垂直作用计算高度ha时，式（B.0.1－１）不适用，应按深埋隧道计算。

**附录C 偏压隧道衬砌作用计算方法**

**C.0.1**　偏压隧道设计时，在假定偏压分布图形与地面坡度一致（图C.0.1）作用下，其垂直压力宜按下列公式计算：

 （C.0.1－1）

 （C.0.1－2）

 （C.0.1－3）

 （C.0.1－4）

 （C.0.1－5）

式中：——内侧由拱顶水平至地面的高度（m）；

——外侧由拱顶水平至地面的高度（m）；

——隧道宽度（m）；

——围岩重度（kN/m3）；

——顶板土柱两侧摩擦角（o）；当无实测资料时，宜按表B.0.1选取；

——内侧的侧压力系数；

——外侧的侧压力系数；

——地面坡度角（o）；

——围岩计算摩擦角（o）,可按表B.0.2取值；

——内侧产生最大推力时的破裂角（o）；

——外侧产生最大推力时的破裂角（o）。



图C.0.1 偏压隧道衬砌作用（荷载）计算图式

**C.0.2**　在荷载作用下的水平侧压力宜按下列公式计算：

内侧：　　　 　　（C.0.2－1）

外侧：＇ 　（C.0.2－2）

式中：——内侧任一点i至地面的距离（m）；

——外侧任一点i至地面的距离（m）。

**附录D 盾构管片内力计算**

**D.1 隧道截面内力计算的基本原则**

**D.1.1**　隧道的结构计算，应根据施工过程中的每个阶段和竣工后的状态下的作用分别进行计算。

**D.1.2**　隧道横截面的设计作用，应以作为设计对象的隧道区间内最不利的条件为基础进行确定。

**D.1.3**　钢筋混凝土管片的非静定力或弹性变形计算，可不计算钢筋影响，将混凝土全截面视为有效截面进行计算。

**D.1.4**　管片截面内力计算可采用惯用计算法、修正惯用计算法、梁弹簧模型法。

**D.2 隧道截面内力惯用法与修正惯用法计算**

**D.2.1**　隧道管片结构受力计算见图D.2.1-1。



图D.2.1-1隧道管片结构受力计算图

**D.2.2**　惯用计算法和修正惯用计算法的隧道管片截面内力计算公式见表D.2.2-1。

表D.2.2-1 惯用计算法和修正惯用计算法的隧道管片截面内力计算公式

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 作用 | 弯矩 | 轴向力 | 剪力 |
| 垂直作用 |  |  |  |
| 水平作用 |  |  |  |
| 水平三角形作用 |  |  |  |
| 水平地基反力（） |  |  |  |
| 自重  （） |  |  |  |
| 管片环水平直径点的水平方向变位（） | 不计算衬砌自重引起的地基抗力    计算了衬砌自重引起的地基抗力    为单位宽度弯曲刚度 | | |

**D.2.3**　当利用惯用计算法、修正惯用计算法时，混凝土管片主体、管片接头的弯矩设计值应分别按下列公式计算：

 （D.2.3-1）

 （D.2.3-2）

式中：——管片主体弯矩设计值(N·m)；

——管片接头弯矩设计值(N·m)；

——惯用计算法弯距计算值(N·m)；

——弯矩增减系数（0～1.0），地基反力大的坚硬地基取低值，地基反力小的软弱地基取高值。

**D.2.4**　管片主体的剪力设计值取主体最大计算剪力值，同时应对斜向受拉钢筋进行应力校核。

**D.2.5**　管片接头的剪力设计值取主体最大计算剪力值，应对每处接头的全部螺栓进行应力校核。

**D.2.6**　当利用惯用计算法、修正惯用计算法时，不能计算环间设计剪力值，但可由垂直水、土压力及自重求解每一环的剪力值。

**附录E 顶管隧道结构计算**

## E.1 管道允许顶力计算

**E.1.1**　钢管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算：

 ..（E.1.1-1）

式中：—— 钢管管道允许顶力设计值（N）；

—— 钢管受压强度折减系数，可取1.00；

——钢管脆性系数，可取1.00；

——钢管顶管稳定系数，可取0.36；当顶进长度小于300m且穿越土层均匀时，可取0.45；

—— 钢管受压强度设计值（N/mm2）；

——管道的最小有效传力面积（mm2）；

——顶力分项系数，可取1.30。

**E.1.2**　钢筋混凝土管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算：

 （E.1.2-1）

式中：——混凝土管道允许顶力设计值（N）；

—— 混凝土材料受压强度折减系数，可取0.90；

——偏心受压强度提高系数，可取1.05；

——材料脆性系数，可取0.85；

——混凝土强度标准调整系数，可取0.79；

—— 混凝土受压强度设计值（N/mm2）。

## E.2 套管强度验算

**E.2.1**　钢套管管壁截面的最大组合折算应力应满足下列公式：

 （E.2.1-1）

（E.2.1-2） （E.2.1-3）

 （E.2.1-4）

 （E.2.1-5）

 （E.2.1-6）

 （E.2.1-7）

 （E.2.1-8）

 （E.2.1-9）

式中：——钢管管壁横截面最大环向应力（N/mm2）；

——钢管管壁横截面最大纵向应力（N/mm2）；

——钢管管壁的最大组合折算应力（N/mm2）；

——应力折算系数，取0.9；

——钢材的强度设计值（N/mm2）；

——管壁计算宽度（mm），取1000mm；

——弯矩折算系数，有水内压时取0.7，无内水压时取1.0；

——可变作用组合系数，取0.9；

——管壁计算厚度（mm），使用期间试算时设计壁厚应扣除2mm，施工期间不扣除；

——管的计算半径（mm）；

——在作用组合作用下钢管管壁截面上的最大环向弯矩设计值（N.mm）；

——在作用组合作用下钢管管壁截面上的最大环向轴力设计值（N）；

——钢管管侧原状土的变形模量（N/mm2）；

——钢管管材的弹性模量（N/mm2）；

、、——分别为钢管管道自重、竖向土压力和管内水重作用下管壁截面的最大弯矩系数，分别取0.083、0.138、0.083；

——管道外直径（mm）；

——地面堆载或车载传递至管道顶压力的较大标准值；

——钢管管材泊松比，可取0.3；

——钢管管材线膨胀系数；

——钢管的计算温差；

——钢管顶进施工变形形成的曲率半径（mm）；

——顶进管道直线顶进允许偏差（mm），可按表E.2.1-1确定；

——出现偏差的最小间距（mm），视顶管直径和土质决定，一般可取50m。

表E.2.1-1 顶管管道直线顶进允许偏差（mm）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | | | 允许偏差 | |
| 钢筋混凝土管 | 钢管 |
| 1 | 直线顶管  水平轴线 | 顶进长度L<400m | | 50 | 130 |
| 400m≤顶进长度L<1000m | | 100 | 200 |
| 顶进长度L≥1000m | | L/10 | 100+L/10 |
| 2 | 直线顶管内底高程 | 顶进长度L  <300m | D1<1500 | +30，-40 | +60，-60 |
| D1≥1500 | +40，-50 | +90，-90 |
| 300m≤顶进长度L<1000m | | +60，-90 | +100，-100 |
| 顶进长度L≥1000m | | +90，-100 | +150，-100，-L/10 |

**E.2.2** 钢筋混凝土顶管管道在组合作用下，管道横截面的环向内力可按下列公式计算：

 （E.2.2-1）

 （E.2.2-2）

式中：——管道横截面上的最大弯矩设计值（N·mm/m）；

——圆管的计算半径（mm），即自圆管中心至管壁中心的距离；

——管道横截面上的轴力设计值（N/m）；

——作用在隧道上的第i项作用设计系数；

——弯矩系数，应根据作用类别取土的支撑角为120°，可按表E.2.2-1选用；

——弯矩系数，应根据作用类别取土的支撑角为120°，可按表E.2.2-1选用。

表E.2.2-1 圆形刚性管弯矩系数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 作用类型 | 内力系数 | | | | | |
| KmA | KmB | KmE | KnA | KnB | KnE |
| 垂直均布作用 | 0.154 | 0.136 | -0.138 | 0.209 | -0.021 | 0.500 |
| 结构自重 | 0.100 | 0.066 | -0.076 | 0.236 | -0.048 | 0.250 |
| 隧道上部土重 | 0.131 | 0.072 | -0.111 | 0.258 | -0.070 | 0.500 |
| 管内充水及其它结构重量 | 0.100 | 0.066 | -0.076 | -0.240 | -0.208 | -0.069 |
| 侧向主动土压力 | -0.125 | -0.125 | 0.125 | 0.500 | 0.500 | 0 |

注：A—隧道底部；B—隧道顶部；E—隧道中部两侧。

## E.3 套管稳定性验算

**E.3.1**钢管管壁截面的临界压力应按下式计算：

 （E.3.1-1）

式中：——管壁失稳时的褶皱波数，其取值应使临界压力最小并不小于2；

——管两侧土体的泊桑比，应根据土工实验确定，一般对砂性土可取0.30，粘性土可取0.40；

——钢材的泊桑比，取0.30；

——管壁中心直径（mm）；

——管材弹性模量(N/mm2)；

——管侧土的变形模量(N/mm2)。

**E.3.2**钢管管道在土压力和地面作用作用下产生的最大竖向变形应按下式计算：

 （E.3.2-1）

式中：——竖向压力作用下管道竖向变形系数，取0.089 ；

——地面作用传递至管顶压力的准永久作用系数；

——钢管截面模量(mm4/m)；

——圆管的计算半径(mm)，即自圆管中心至管壁中心的距离。

**附录F 无套管穿越公路土压力产生的管道应力计算**

**F.0.1**　土压力产生的管道环向应力可按下式计算：

**　　　　　　　 （F.0.1-1）

式中：——土压力产生的管道环向应力（kPa）；

**——钻孔方式土压力产生管道环向应力的刚度系数；

**——土压力埋深影响系数；

**——土压力挖掘系数；

**——土壤的容重（kN/m3），如果有岩土试验取实际试验值，一般可取18kN/m3；

**——穿越管道外直径（m）。

**F.0.2**　土压力产生管道环向应力的刚度系数**，可根据土壤反作用模量和管道的壁厚与外直径的比值，按表F.0.2-1取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图F.0.2-1确定；采用钻孔施工方法的土壤反作用模量，可按表F.0.2-2取值。在无勘察资料的情况下，一般可取3.4MPa。采用开挖夯实管沟回填方法，应高于钻孔施工方法。

**表F.0.2-1　钻孔方式土压力产生管道环向应力的刚度系数*KHe***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *δ/D* | E′（MPa） | | | |
| 1.4 | 3.4 | 6.9 | 13.8 |
| 0.01 | 8500 | 6500 | 4600 | 3350 |
| 0.02 | 3100 | 2800 | 2400 | 2000 |
| 0.03 | 1400 | 1320 | 1260 | 1200 |
| 0.04 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| 0.05 | 650 | 650 | 650 | 650 |
| 0.06 | 450 | 450 | 450 | 450 |
| 0.07 | 350 | 350 | 350 | 350 |
| 0.08 | 200 | 200 | 200 | 200 |



**图F.0.2-1　钻孔方式土压力产生管道环向应力的刚度系数****

**表F.0.2-2　采用钻孔施工方法的土壤反作用模量**

|  |  |
| --- | --- |
| 土壤状态 | （MPa） |
| 高塑性的软塑～可塑粘性土和粉土 | 1.4 |
| 低～中塑性的软塑～可塑粘性土和粉土、  松散砂和砾石 | 3.4 |
| 硬塑～坚硬的粘性土和粉土、  中密的砂和砾石 | 6.9 |
| 密实～很密实的砂和砾石 | 13.8 |

**F.0.3**钻孔方式土压力产生管道环向应力的埋深影响系数Be，应根据土壤分类和管线埋深与钻孔直径的比值**，按表F.0.3-1取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图F.0.3-1确定；在不能确定钻孔直径**的情况下，宜取**；对于开挖施工方法，宜取*。*

**表F.0.3-1　钻孔方式土压力产生管道环向应力的埋深影响系数Be**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 土壤类型 | |
| A | B |
| 2 | 0.64 | 0.64 |
| 4 | 0.99 | 0.77 |
| 6 | 1.17 | 0.99 |
| 8 | 1.27 | 1.10 |
| 10 | 1.35 | 1.15 |
| 12 | 1.36 | 1.17 |
| 14 | 1.36 | 1.17 |
| 16 | 1.36 | 1.17 |
| 18 | 1.36 | 1.17 |
| 20 | 1.36 | 1.17 |
| 22 | 1.36 | 1.17 |
| 24 | 1.36 | 1.17 |
| 26 | 1.36 | 1.17 |
| 28 | 1.36 | 1.17 |
| 30 | 1.36 | 1.17 |



**图F.0.3-1　钻孔方式土压力产生管道环向应力的埋深影响系数*Be***

**F.0.4** 钻孔方式土压力产生管道环向应力挖掘系数**，应根据钻孔直径与管线直径比值**，按表F.0.4-1取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图F.0.4-1确定；在不能确定钻孔直径时，宜取**；对于开挖敷管施工方法，宜取**。

**表F.0.4-1　钻孔方式土压力产生管道环向应力的挖掘系数****

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 1.00 | 0.83 |
| 1.05 | 0.91 |
| 1.10 | 0.95 |
| 1.15 | 1.08 |
| 1.20 | 1.18 |
| 1.25 | 1.29 |
| 1.30 | 1.40 |



**图F.0.4-1　钻孔方式土压力产生管道环向应力的挖掘系数*Ee***

**附录G 无套管穿越公路车辆荷载产生的管道循环应力计算**

**G.1车辆荷载产生的管道环向循环应力计算**

**G.1.1** 车辆荷载产生的管道环向循环应力σHh应按下式计算：

*σHh* ＝*KHh GHh R LFi w*　　　　　　　 　　（G.1.1）

式中：——车辆荷载产生的管道环向循环应力（kPa）；

——公路车辆荷载产生环向循环应力的刚度系数，可按表G.1.1-1取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图G.1.1-1确定；

——公路环向循环应力的几何因素，可按表G.1.1-2取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图G.1.1-2确定；

** ——公路路面类型系数，可按表G.1.1-3取值；

** ——公路车辆车轴类型系数，可按表G.1.1-3取值；

**——冲击系数。冲击系数是输送管线在穿越处埋深H的函数，按表G.1.1-4取值，当不能从表中直接获取数据时，可内插确定；

**——车轮均布荷载标准值，取双轴W=583 kPa。

**表G.1.1-1　公路车辆荷载产生管道环向应力的刚度系数*KHh***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *δ/D* | Er′（MPa） | | |
| 34.00 | 69.00 | 138.00 |
| 0.01 | 19.50 | 13.00 | 6.50 |
| 0.02 | 19.00 | 14.00 | 9.50 |
| 0.03 | 13.50 | 11.00 | 8.50 |
| 0.04 | 8.70 | 8.00 | 6.00 |
| 0.05 | 6.50 | 6.00 | 4.50 |
| 0.06 | 4.50 | 4.00 | 3.50 |
| 0.07 | 2.65 | 2.60 | 2.00 |
| 0.08 | 1.35 | 1.30 | 1.25 |



**图G.1.1-1　公路车辆荷载产生管道环向应力的刚度系数*KHh***

**表G.1.1-2　公路环向循环应力的几何因素*GHh***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| D（mm） | H（m） | | | |
| 0.90~1.20 | 1.80 | 2.40 | 3.00 |
| 100 | 1.45 | 1.35 | 0.85 | 0.65 |
| 200 | 1.40 | 1.34 | 0.84 | 0.64 |
| 300 | 1.30 | 1.05 | 0.83 | 0.63 |
| 400 | 1.20 | 0.95 | 0.82 | 0.62 |
| 500 | 1.15 | 0.90 | 0.76 | 0.60 |
| 600 | 1.13 | 0.87 | 0.72 | 0.58 |
| 700 | 1.10 | 0.85 | 0.67 | 0.57 |
| 800 | 1.00 | 0.80 | 0.65 | 0.55 |
| 900 | 0.99 | 0.79 | 0.63 | 0.50 |
| 1000 | 0.95 | 0.74 | 0.62 | 0.45 |



**图G.1.1-2　公路环向循环应力的几何因素*GHh***

**表G.1.1-3　公路路面类型系数R和车轮车轴类型系数L**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 路面类型 | 车轴类型 | R | L |
| 刚性路面 | 双轴 | 0.90 | 1.00 |
| 弹性路面 | 双轴 | 1.00 | 1.00 |
| 无路面 | 双轴 | 1.10 | 1.00 |

**表G.1.1-4　公路车辆荷载冲击系数*Fi***

|  |  |
| --- | --- |
| H（m） | *Fi* |
| 1 | 1.50 |
| 2 | 1.45 |
| 3 | 1.35 |
| 4 | 1.26 |
| 5 | 1.18 |
| 6 | 1.10 |

公路车辆荷载产生环向循环应力的刚度系数*KHh*，应根据土壤弹性模量*Er*和管道的壁厚与直径的比值*δ/D*确定。其中，土壤弹性模量*Er*，应按表G.1.1-5取值。

**表G.1.1-5　土壤弹性模量Er**

|  |  |
| --- | --- |
| 土壤状态 | Er （MPa） |
| 软塑～可塑粘性土和粉土 | 34 |
| 硬塑～坚硬的粘性土和粉土、  中密的砂和砾石 | 69 |
| 密实～很密实的砂和砾石 | 138 |

**G.2车辆产生的管道轴向循环应力计算**

**G.2.1** 车辆荷载产生的管道轴向循环应力σLh应按式G.2.1计算：

**　　　　　　 　　　（G.2.1）

式中：**——车辆荷载产生的管道轴向循环应力（kPa）；

**——公路车辆荷载产生管道轴向循环应力的刚度系数，按表G.2.1-1取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图G.2.1-1确定；

**——公路轴向循环应力的几何因素，按表G.2.1-2取值,当不能从表中直接获取数据时，应按图G.2.1-2确定。

**表G.2.1-1　公路车辆荷载产生管道轴向应力的刚度系数*KLh***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *δ/D* | Er′（MPa） | | |
| 34 | 69 | 138 |
| 0.01 | 14.50 | 9.50 | 6.00 |
| 0.02 | 14.00 | 9.50 | 7.00 |
| 0.03 | 12.00 | 8.50 | 6.00 |
| 0.04 | 9.50 | 7.00 | 4.50 |
| 0.05 | 8.50 | 6.50 | 4.20 |
| 0.06 | 7.60 | 5.10 | 3.20 |
| 0.07 | 7.40 | 4.90 | 3.00 |
| 0.08 | 7.20 | 4.80 | 3.00 |



**图G.2.1-1　公路车辆荷载产生管道轴向应力的刚度系数*KLh***

**表G.2.1-2　公路轴向循环应力的几何因素*GLh***

| D（mm） | H（m） | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.90~1.20 | 1.80 | 2.40 | 3.00 |
| 100 | 1.85 | 1.74 | 1.72 | 1.65 |
| 200 | 1.35 | 1.25 | 1.15 | 1.10 |
| 300 | 1.20 | 1.05 | 0.90 | 0.85 |
| 400 | 1.17 | 0.95 | 0.85 | 0.75 |
| 500 | 1.10 | 0.90 | 0.82 | 0.70 |
| 600 | 1.05 | 0.87 | 0.75 | 0.65 |
| 700 | 0.95 | 0.85 | 0.73 | 0.63 |
| 800 | 0.90 | 0.84 | 0.70 | 0.60 |
| 900 | 0.87 | 0.75 | 0.65 | 0.55 |
| 1000 | 0.85 | 0.65 | 0.62 | 0.50 |



图G.2.1-2　公路轴向循环应力的几何因素*GLh*

**附录H 敷管条件的设计参数**

表H.0.1 敷管条件的设计参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 敷管类型 | 敷管条件 | (kN/m2) | 基床包角  （°） | 基床系数*K* |
| 1型 | 管道敷设在未扰动的土上，回填土松散。 | 1000 | 30 | 0.108 |
| 2型 | 管道敷设在未扰动的土上，管道中线以下的土轻轻压实。 | 2000 | 45 | 0.105 |
| 3型 | 管道敷设在厚度至少有10cm的松土垫层内，管顶以下的回填土轻轻压实。 | 2800 | 60 | 0.103 |
| 4型 | 管道敷设在砂卵石或碎石垫层内，垫层顶面应在管底以上1/8管径处，但至少为10cm，管顶以下回填土夯实,夯实密度约为80%（标准葡式密度）。 | 3800 | 90 | 0.096 |
| 5型 | 管道中线以下放在压实的黏土内，管顶以下回填土夯实，夯实密度约为90%（标准葡式密度）。 | 4800 | 150 | 0.085 |

注：

1、管径大于或等于750mm的管道不宜采用1型；

2、基床包角指管基土壤反作用的圆弧角；

3、表中的为土壤变形模量。

# 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词；

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

1. 表示允许稍有选择，在条件许可时应首先这样做的用词；

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

《内河交通安全标志》GB 13851

《地下工程防水技术规范》GB 50108

《输气管道工程设计规范》GB 50251

《输油管道工程设计规范》GB 50253

《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369

《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB 50470

[《油气田及管道岩土工程勘察标准](http://www.petrostd.com/view.asp?id=1138)》GB 50568

《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447

《建筑结构荷载规范》 GB 50009

《混凝土结构设计规范》GB50010

《油气输送管道穿越工程施工规范》GB 50424

《石油天然气管道工程全自动超声波检测技术规范》GB 50818

《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082

《油气输送管道工程测量规范》GB/T 50539

《混凝土和钢筋混凝土排水管》GB/T 11836

《铁路隧道设计规范》TB 10003

《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》JTJ F80/1

《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109

《石油天然气管道系统治安风险等级和安全防范要求》GA 1166

**UDC**

### GB

**GB 50423—20XX**

**中华人民共和国国家标准**

**油气输送管道穿越工程设计标准**

GB50423—20XX

# 条文说明

**修订说明**

本规范是在《油气输送管道穿越工程设计规范》（GB50423—2013）的基础上修订而成的，主编单位是中国石油天然气管道工程有限公司，参编单位是中石化石油工程设计有限公司、中国铁路设计集团有限公司、中国石油工程建设有限公司西南分公司、大庆油田设计院有限公司主要起草人员是：史航 程梦鹏 张文伟 简朝明 李国辉 马晓成 蒲高军 刘建武 张邕生 闫庆华 安玉红 孟庆余 甘继国 王晓峰 李强 许杰 向波 陈文备 詹胜文 马红昕 高红 王鸿 陆江 张志广 刘其民 李志勇 陈杰 王贵涛 刘艳东 唐培连 杨威 左雷彬 铁明亮 马志富 任启瑞。本次修订的主要技术内容是：1）在3.2.2条统一了山岭隧道内敷设管道的设计系数，删除了冲沟穿越管道强度系数的相关规定。2）穿越管段的作用计算和作用组合及管段应力校核作为共性内容，增加了除开挖穿越以外其它穿越方式的相关计算内容，并调整了应力校核条件和附加组合许用应力提高系数，对提高后的许用应力给出了最大限值。在3.4.3条公式中明确了穿越段钢管许用应力提高系数的应用工况，补充了许用应力提高系数的相关要求，附加组合的系数提高到了1.4。3）删除了不满足埋设深度要求的开挖穿越管段稳定性验算相关条款。4）在第5章补充了定向钻穿越管道外增加防护层的条件；补充了定向钻复合曲线的曲率半径计算要求。5）增加了6.9.4条，给出了隧道的防水等级标准，并在6.9.5条对隧道最低防水等级进行了修改。6）在“隧道穿越设计”章节中，修改了矿山法隧道结构设计方法，采取破损阶段法，并相应修改了深埋隧道衬砌结构围岩压力的计算公式；修改了复合式衬砌的设计参数表中V级围岩的设计参数；新增了6.4.3条盾构隧道的平面线形要求；细化了触变泥浆减阻管壁与土的平均摩阻力表。7）增加了第7章直铺管穿越设计。8）根据《关于规范公路桥梁与石油天然气管道交叉工程管理的通知》、《油气输送管道与铁路交汇工程技术及管理规定》修改了第8章。

本规范修订过程中，编制组进行了调查研究，总结了我国近年来管道穿越工程建设的实践经验，同时参考了国、内外的先进技术法规、技术标准。

为便于广大设计、施工、科研、院校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《油气输送管道穿越工程设计规范》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考**。**

**目次**

[2 术语 81](#_Toc69373729)

[3 基本规定 82](#_Toc69373730)

[3.1 一般规定 82](#_Toc69373731)

[3.2 管道材料与计算 82](#_Toc69373732)

[3.3 穿越管段计算 83](#_Toc69373733)

[3.4 水域穿越 84](#_Toc69373734)

[3.5 山地、冲沟穿越 88](#_Toc69373735)

[4 开挖穿越设计 89](#_Toc69373736)

[4.1 敷设要求 90](#_Toc69373737)

[4.2 水下管段稳定 90](#_Toc69373738)

[4.3 防护工程设计 91](#_Toc69373739)

[5 定向钻穿越设计 92](#_Toc69373740)

[5.1 一般规定 92](#_Toc69373741)

[5.2 敷设要求 92](#_Toc69373742)

[5.3 管段计算 93](#_Toc69373743)

[6 隧道穿越设计 95](#_Toc69373744)

[6.1 一般规定 95](#_Toc69373745)

[6.2 作用与作用组合 96](#_Toc69373746)

[6.3 矿山法隧道设计 98](#_Toc69373747)

[6.4 盾构隧道设计 103](#_Toc69373748)

[6.6 顶管隧道 105](#_Toc69373749)

[6.6 竖井工程 106](#_Toc69373750)

[6.7 斜巷工程 107](#_Toc69373751)

[6.8 工程材料 107](#_Toc69373752)

[6.9 防水与排水 108](#_Toc69373753)

[6.10 隧道内管道安装 110](#_Toc69373754)

[7 直铺管法穿越设计 111](#_Toc69373755)

[8 公路、铁路穿越设计 115](#_Toc69373756)

[8.1 敷设要求 115](#_Toc69373757)

[8.2 公路穿越 116](#_Toc69373758)

[8.3 铁路穿越 117](#_Toc69373759)

[9.1 焊接检验 119](#_Toc69373760)

[9.2 清管、测径及试压 119](#_Toc69373761)

[9.3 防腐 120](#_Toc69373762)

**2 术语**

**2.0.1**管道穿越工程，按照其穿越障碍物不同，分为水域穿越工程、山岭及冲沟穿越工程、公路及铁路穿越工程和其他障碍物穿越工程。

水域穿越工程按施工方法主要有开挖、定向钻、直铺管、隧道法穿越，其中隧道法穿越又主要分为矿山法隧道、顶管法隧道及盾构法隧道；山岭冲沟穿越方法主要有开挖法、隧道法、定向钻法穿越；而公路、铁路穿越可采用顶管、顶箱涵、定向钻法，低等级公路可采用开挖法穿越。

**2.0.2**穿越管段的长度包括穿越障碍物的长度和两侧连接段的长度，两侧连接段长度指的是穿越范围内障碍物与一般线路段之间的管段。

**2.0.3**一些陆地开挖的养殖塘、水塘，由于可能随时会变换成水田、旱地等，故陆地开挖的养殖塘、水塘不在本规范水域范围，可根据规模或者环境影响等情况参照水域穿越进行相关设计；水渠指的是有一定规模人工开凿的干渠，用于灌溉的支渠或者支沟不在本术语规定范围内。

**3 基本规定**

## 3.1 一般规定

**3.1.1**穿越工程是输送管道建设的关键工程，为确保满足输送油气管道质量的要求，达到平稳安全营运的目的，就必须有准确的输送介质的物性资料与输送工艺参数，如设计输量、管径、压力、温度、介质腐蚀性等资料，为工程材料选用和结构计算提供基础依据。

**3.1.2**本条是根据国家相关法律、法规的规定，从工程安全出发，要求设计前应根据工程项目已作出的各项评估或评价报告，合法合规选定穿越工程位置和穿越方案。与穿越工程相关的评价或评估报告除了为整个项目进行的环境影响评价、安全预评价、场地地震安全评价、地质灾害危险性评估、水土保持评价、社会稳定危险评估、职业卫生评价、文物评价等评价或评估报告外，还包括防洪影响评价、水产种质资源保护区影响专项评价、通航条件影响评价、通航安全评估、锚地影响专项评价、港口相互影响评估、岸坡稳定性评价、定量环境风险评价等专项评价，具体与工程所处的条件有关。

**3.1.3**为确保穿越工程设计的科学、可靠性，本条规定了应取得工程测量、工程地质、水文地质基本资料，作为设计方案、工程布置及结构计算的基础。

**3.1.4**油气管道输送的物质一般属于易燃易爆物品，油气管道穿越工程的抗震计算、校核包括穿越结构本体、穿越管段及其附属设施，需要满足在基本地震动作用下，穿越工程是完整的，是可以继续运营的，在罕遇地震动作用下，穿越工程不应发生损坏，不至于出现爆炸事故或引起次生灾害。此条规定了油气管道穿越工程应进行抗震设计，采取相应的抗震措施是必要的。

**3.1.5**管道如果要穿越断层，地震发生时，可能因为活动断层错动、地表开裂、地层滑动、地基土液化、两岸滑坡而破坏，因此要求取得这些方面的量化资料，核算管道的安全性。

**3.1.6**钢管是油气输送的载体，也是管道工程中采用的最大宗材料，穿越管段是整个线路工程用管的一部分，钢管选用应满足现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253、《输气管道工程设计规范》GB 50251的有关规定。

**3.1.7**穿越管段因腐蚀而发生事故是主要原因之一，故本条规定按《钢制管道外腐蚀控制规范》GB/T21447 标准要求，要取得穿越管道防腐设计中所需的基本资料。

## 3.2 穿越管段计算

**3.2.1** 为了保证穿越管段的强度和结构稳定性要求，结合《烃类和其它液体输送管线系统》ASME B31.4与《输气和配气管线系统》ASME B31.8的有关规定，制定本条的壁厚计算及要求。考虑到穿越管道在施工过程中受力复杂，为了提高穿越管道的刚度，保证管道穿越过程中的完整性，对穿越管道的径厚比做了严格的规定。

**3.2.2** 本条规定的钢管许用应力是依据现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251和《输油管道工程设计规范》GB 50253的规定，并参照美国的《烃类和其它液体输送管线系统》ASME B31.4和《输气和配气管线系统》ASME B31.8的规定制定的。

考虑到穿越管段的重要性，以及环境保护要求、穿越段维护抢修困难等因素，穿越管段强度设计系数小于同类地区一般线路段埋地管道的强度设计系数，以此提高强度安全裕量。但对于大量存在于管道工程中的小型穿越和Ⅲ、Ⅳ级公路有套管穿越，为避免沿线管壁厚度的频繁变化，也考虑到维护抢修容易，且有足够的安全裕量，故采用与一般线路段埋地管道相同的设计系数。

本次修订中，对山岭隧道不再进行长隧道、中长隧道和短隧道的设计系数分级，主要考虑：一是分级的依据不充分，没有充足理由证明短隧道的重要性、抢修方便性、发生事故的影响程度等低于长隧道和中长隧道；二是，原分级标准中，长度小于500m的山岭隧道在实际工程中并不多见。故取消了按照隧道的长度，规定不同的管道设计系数的要求。

本次修订中，取消了冲沟设计系数选取规定，主要考虑：冲沟在甘肃、陕西等中西部地区大量存在，在线路设计中，为避免沿线管壁厚度的频繁变化，也考虑到维护抢修相对其他穿越较容易，故可采用与一般线路段埋地管道相同的设计系数。

本条对于穿越山体、公路铁路或其他障碍物的定向钻穿越及冲沟穿越系数没有做详细规定，主要考虑这些穿越工程的条件千差万别，不能一概而论，工程技术人员可根据穿越的长度、地质复杂程度、穿越管道管径、抢修难度、所处环境要求等参照河流、公路铁路、山岭隧道的设计系数选用。

**3.2.3** 本条列出了水下穿越工程结构有可能承受的作用。对某一个具体的穿越工程，并非都存在这些载荷与作用，应按具体情况采用。

由于穿越管段在满足设计要求的正常情况下，基本不存在落石冲击力、沉船、抛锚或河道疏浚产生的撞击力等偶然作用，当不可避免出现上述偶然作用时应采用防护措施对穿越段管道进行保护，故偶然作用只考虑地震作用。

**3.2.4** 对于作用组合，设计时应根据所考虑的设计状况，选用不同的组合。

1 对于出现概率较大，且持续期很长的设计状况（运营工况），应采用主要组合。

2 对于出现概率较大，且持续期很短的设计状况（施工工况），应采用附加组合。

3 对于出现概率很小，且持续期很短的设计状况（地震工况），应采用特殊组合。

**3.2.5** 本条规定了穿越管段的核算内容。

**3.2.6** 本条集中规定了各单项应力和当量应力的计算，由于本条款属于共性内容，适用于所有穿越方式，不仅仅只是开挖穿越，故增加了外压、轴向力以及隧道内管段架空敷设时弯矩、挠度、剪力产出的应力计算。当量应力分两种情况分别采用第三和第四强度理论计算。本次修订增加了第四强度理论当量应力计算规定。

**3.2.7** 本条集中规定了各单项应力和当量应力的校核条件，当量应力校核分两种情况分别采用第三和第四强度理论进行校核，本次修订增加了第四强度理论当量应力的校核规定，并明确了试压工况的校核条件。

对于钢管许用应力提高系数，附加组合由于是施工阶段的组合，是短时间的作用，故将许用应力提高系数由1.3提高到1.4，且与《油气输送管道跨越工程设计标准》GB 50459保持一致；为了保证管道的安全，对提高后的许用应力给出了一个最大限值，附加组合不应大于0.8σs，特殊组合不应大于1.0σs，这样既可以充分利用钢管的弹塑性，节省钢材，又能保证管道有一定的强度安全储备，不至于发生管段的强度破坏。

## 3.3 水域穿越

**3.3.1** 水文资料是水域穿越设计的基本依据。本条规定获取水文资料及水库影响资料的要求，以确保工程在设计洪水标准下的安全。对于位于规划库区的穿越，设计前应调查清楚水库设计蓄水位、库岸再造影响范围等，避免库岸再造对穿越的不利影响；而对于位于水库下游的穿越段，应注意水库泄洪及清水冲刷造成的不利影响。

**3.3.2** 规定了水域穿越位置选择的总体要求。

1 为保证穿越管道安全，本款规定穿越位置宜选在岸坡稳定地段。如果穿越位置选择受限，必须经过不稳定地段时，应该首选采用非开挖方式一次性从不稳定坡体下方通过，避开不稳定坡体的影响。当采用定向钻或隧道等非开挖穿越从河道深处穿越通过时，没必要对不稳定的岸坡进行处理。

2考虑到活动断层的错动有可能破坏水下穿越管段，且水下抢修困难，因此规定了不宜将穿越位置选在活动断层上。

3制定本款是为了缩短水域穿越长度，也满足《内河通航标准》GB 50139的相关要求。若因地形、两岸规划要求或地物的影响，穿越斜交角可以减小。

本次修订中，删除了应避开一级水源地的要求，比如南水北调整个工程为一级水源地，但是南水北调为线性工程，实际工程中难免有交叉，故规范规定完全避开是不现实的。对于国家相关法律法规有明确规定需要避开的水源地，执行法律规定即可，规范不再做类似规定。

**3.3.3** 本条规定了水域穿越等级划分与相应的设计洪水频率，是根据我国近50年管道穿越水域工程设计、施工、运营的经验教训总结出来的，也符合现行国家标准《防洪标准》GB50201的要求。

鉴于桥梁设防洪水在Ⅰ级以上公路、骨干铁路的大桥与特大桥中为300年一遇标准，考虑到桥梁墩台的一般冲刷加局部冲刷深度大，影响范围可能波及到其上游管道安全，故提出桥梁上游300m范围内的穿越工程采用的设计洪水频率不应低于该桥的设计洪水频率。

多年平均水位现场很难判断，一般根据防洪影响评价报告选取，但是在实际工程中，防洪影响评价往往在项目前期没有开展，这对于前期需要确定河流工程等级比较困难，对于两岸有大堤的穿越，大堤说明了该河的洪水程度和防洪的重要性，堤间宽度可作为多年平均水面宽度的依据。对于两岸无堤防的河流，淹没边滩的水位可作为多年平均水位水面宽度的依据。

对于顺河床敷设的穿越工程可以参照3.3.3表执行。近年来，顺河床敷设的穿越工程事故较为频发，尤其是山区河流穿越段。在该地段敷设的管道按规范常常划分为小型穿越，而实际上顺河床段管道敷设在河道长度较长，且经过不同的地形、河势和水文条件，复杂性甚至更强于河流大、中型穿越；在设计中由于均按河流小型穿越划分，设计措施、重视程度均不足，易形成薄弱环节，由于顺河床敷设目前没有统一认识，建议参照此条规定执行，必要时，适当提高设计标准，加大管道埋设深度，采取加强的防护措施。

**3.3.4** 本条针对难以按照表3.3.3进行等级划分的河流穿越提出了划分要求。

本次修订中，删除了“若采用挖沟法穿越，当施工期水流流速大于2m/s时，中小型工程等级可提高一级”的要求。河流的工程等级需要在设计前期确定，此时的过河方案和施工季节都不能确定，故不再提出此要求。

**3.3.5** 本条规定穿越型式选择的比选要求。方案比选是穿越设计的重要一环，关系到工程的安全及技术经济合理性。比选中，着重对地质和水文条件的适应性、方案的可靠性进行比较，并满足环保要求，降低工程风险，节约工程投资。

**3.3.6** 本条规定了水域穿越工程的长度与埋深应考虑的外界环境条件。管道水域穿越的长度不仅包括水体本身，也包括两岸洪水（蓄水）淹没范围、防洪堤及堤外防护带，水库区段还包括泄洪影响范围。新建水库区域尚应考虑库岸再造作用对岸坡稳定性的影响。

洪水淹没范围是指被洪水淹没的自然地理界线，一般应以水利部门界定为准。有防洪堤的河流，洪水淹没范围通常指堤防之间区域，不包括超过防洪堤设防标准的洪水漫过区域。

**3.3.7** 水域穿越管段与桥梁间的最小距离，除考虑自身安全与施工要求外，还应考虑对桥梁墩台的影响，开挖法穿越对河床的扰动大，施工所占场地较大，所以要求距离桥梁远一些；水平定向钻、水下隧道穿越为免开挖穿越方式，对河床和水体无干扰，可以距离桥梁近一些，本条中数据是根据多年来国内外管道穿越工程的经验并参照了交通行业相关法规、标准要求确定的。管道与陆上段桥梁、引桥间距可不受本条限制。

特大桥、大桥、中桥、小桥按照下列分类：

表2 桥梁分类表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 桥梁分类 | 多孔跨径总长L（m） | 单孔跨径Lk（m） |
| 特大桥 | L＞1000 | Lk＞150 |
| 大桥 | 100≤L≤1000 | 40≤Lk≤150 |
| 中桥 | 30＜L＜100 | 20≤Lk≤40 |
| 小桥 | 8≤L≤30 | 5≤Lk≤20 |

此条中特大桥、大桥、中桥、小桥指的是等级公路中通车的桥梁，非等级公路桥梁、行人桥、临时桥可不受本条限制。

本次修订中，增加了直铺管法穿越与桥梁及水下隧道之间的距离要求，直铺管法施工工艺及对周围环境的扰动影响与定向钻类似，故直铺管法穿越与桥梁及水下隧道之间的距离要求同定向钻穿越要求。

**3.3.8** 港口、码头附近，有船只抛锚、航道疏浚作业，甚至发生沉船等风险；水下建构筑物（如水底游乐设施类）是人员活动频繁之地，或者是重要的基础设施（如水下油气储罐），为了穿越管段施工和运营的安全，也考虑油气管道极端工况下，发生泄漏时，对周边相关设施的影响程度可接受，并满足现行国家标准《内河通航标准》GB 50139-2004 “穿越航道的水下电缆、管道、涵管和隧道等水下过河建筑物必须布设在远离滩险、港口和锚地的稳定河段”的要求，制订本条规定。

水下建构筑物，指用石材、钢材或钢筋混凝土建造的没于水下的建构筑物。可为独立建构筑物，如水下水工构筑物、水底游乐设施，也可为建构筑物的水下部分或水下基础，如水下油气储罐、水底核电站、钻井平台的水下结构部分，以及码头建筑物的水下结构部分等。

当采用定向钻、直铺管、隧道等非开挖穿越时，如果穿越深度足够深，与港口、码头、水下建筑物之间相互影响小，不影响彼此安全时，经过专项论证可以缩小此条中规定的距离。

**3.3.9** 采用水平定向钻、直铺管法或隧道敷设穿越有堤坝的水域时，当管道（隧道）口径大、地基土的自稳性差且堤坝下穿越深度较浅的情况，曾经出现过堤坝裂缝和地面的沉陷的现象，对堤防造成了险情。为此，本条规定应采取措施控制沉降，不应危及堤坝安全。一般是通过加深堤坝下的埋设深度、控制掘进速度，矿山隧道采用加强的支护措施，来控制对大堤的影响。必要时，应根据堤防管理部门要求，预先对堤防一定范围内土体进行预注浆或采取其他加固措施。本条文中大堤一般指有等级的堤防工程，非等级或民堤等堤防工程可参照执行。

**3.3.10** 本条规定了穿越通航水域时，埋深要考虑船锚或疏浚机具对管道的损伤影响，两岸还应设置标志，以警示过往船只或施工作业者注意水下管道的位置。

**3.3.11** 近些年在河床内挖掘砂石材料，或采挖矿石、矿砂的活动非常频繁，这些活动不仅会直接破坏所在河段的埋设管道，而且破坏了自然河床的冲淤规律，对上下游一定范围内的穿越管道形成很大威胁。设计中一定要充分关注穿越河段内是否有类似的挖沙采石活动，应将管道穿越点选择在挖沙采石区域以外，若确实难以避免这类活动，应考虑将管道布置在挖沙采石范围以外，包括更长的穿越长度、更深的穿越深度。

**3.3.12**  饮用水水源保护区和河流大型穿越地段，管道一旦发生泄漏，将发生严重的环境污染事件，并对社会、生态造成重大影响，为减少饮用水水源保护区和大型穿越管道发生事故后的泄漏量，降低社会、生态影响，结合美国国家标准ASMI B31.4-2012和输油管道设计规范GB50253-2014的要求，对饮用水水源保护区和大型穿越地段的阀室设置做出要求。阀室的位置应考虑便于操作的交通条件，并不应在设计洪水条件下被淹没。由于输气管道不会污染水源，可不设截断阀室。

**3.3.13** 土壤液化易使埋设的穿越管段上浮，管段会受到水流冲击，可能造成管段的损坏，对于开挖穿越的管道应对液化土层采取处理措施，使之不产生液化。在液化土层中设置混凝土压重块，土壤液化时压重块容易倾覆，或带动管道下沉，所以液化地层不应采用。

## 3.4 山地、冲沟穿越

**3.4.1** 油气输送管道山岭隧道与公路、铁路山岭隧道相交时的竖向距离，结合交通隧道邻近建设的经验，以及近年来西气东输二线、川气东送管道、中缅油气管道与公路、铁路隧道相交叉的经验，一般在两倍洞径的距离完全可以保证隧道的稳定性，采用30m净距是较为安全的。同时应考虑隧道施工中的岩石爆破振动速率，经过涩宁兰输气管道的爆破试验证明，当爆破振动速率不大于14cm/s时，对输气管道不会产生不利影响，所以，设计中尚应控制爆破的振动值。

**3.4.2** 输油管道在翻越山岭时，有时需要设置泵站提高扬程以翻越沿线的高点，采用隧道穿越山体可以有效降低沿线的高程，可能减少泵站数量，这是液体管道输送系统的优化。所以，选择隧道穿越的高程应满足输送工艺要求。

**3.4.3** 泥石流对地面建筑物或浅埋构筑物具有极大的破坏力，泥石流的上游侵蚀区和中游流通区的强烈冲刷会对埋设在非稳定地层内的管道产生损毁，而在出口堆积区能形成相对稳定的、破坏力小的区域，该区域会有大量的堆积物。本条的规定利用了泥石流沟特性而制定。管道应埋设在泥石流堆积区稳定层内或不受冲蚀的地层中，或在管道上方设置排洪构筑物，都是有效的做法。

**3.4.4** 在湿陷性黄土地区，水是造成黄土沉陷、边坡坍塌、形成冲沟的根本原因。为了确保穿越黄土冲沟管段的安全，本条规定了沟顶截排水、沟坡防护、沟底稳管的措施。

采用开挖斜巷方式穿越高陡边坡时，管道敷设完成后，管道与斜巷之间的空洞，容易受到雨水侵蚀，形成过水通道，造成孔洞坍塌，对管道的运营安全带来隐患，故规定斜巷中管道敷设完成后，应做好洞身回填，洞口应采取防水措施。

**3.4.6** 在湿陷性黄土地区冲沟中，当地居民在沟谷中修建一些淤土坝，经若干年后就会淤积成小片平地，淤起后向上游再筑坝淤地，经过数年乃至数十年后形成一级一级的阶地，作为农田耕种。管道穿过此类地段，有的部分由于土层淤积时间短，土质尚未固结稳定。管道下沟回填后，遭遇强暴雨时，有可能将土坝冲毁，造成严重的水土流失并危及管道安全。管道应尽可能避开此类地段，如难以避开，应采取水工保护等安全措施。

**3.4.7** 狭窄的冲沟内山洪发生时流速较大，冲刷深度大，管道顺沟敷设容易受到洪水冲蚀，一般应避开狭窄的冲沟。如确实不能避开，设计应进行详细的资料调查，根据冲刷及下切深度，确定合理的管道埋深，并增设防止冲刷下切的措施。

**4 开挖穿越设计**

## 4.1 敷设要求

**4.1.1** 本条规定了水域开挖穿越位置的选择要求，既考虑管段的安全，又要兼顾水域整治的工程规划。

**4.1.2** 本条规定了在水域开挖穿越管段的最小埋深要求，是在总结50多年国内管道施工、运营管理经验和教训的基础上提出的。对于存在挖砂、取石、采矿等导致河床冲刷下切较大的开挖穿越，管道埋设深度还应加大。

**4.1.6** 本条规定了岩石、卵砾石等易划伤损伤防腐层的地层穿越段管沟回填要求，总结近几十年岩石段水域穿越的经验，对于基岩段管沟推荐采用混凝土满槽浇筑至管顶以上不小于0.5m，满足稳管条件并避免损伤管道防腐层即可，管沟其余回填部分可采用原土回填，不必管沟范围内满槽浇筑混凝土。

**4.1.7** 制定本条是为了保护管道及附属设施免受腐蚀性介质侵蚀。

## 4.2 水下管段稳定

**4.2.1**水下穿越管段的设计埋深必须保证在设计冲刷线之下一定深度，才能保证管段不产生飘浮和移位。在没有达到上述设计埋深时，受到水流的浮力与动力的作用，可能引起管段飘浮或移位，影响管段的安全。

**4.2.2** 当水下管段埋深达到本标准第4.1.2条要求时，不会受到动水的上举力与推力的作用，故只需核算静水浮力会不会引起漂管。本条旨在提醒相关人员不论管段是否稳定，一律采取稳管措施的作法是不恰当的，这样无疑增加工程不必要的投资。

对于竖向弹性敷设管段，若弹性敷设的曲率半径形成的管段矢高大于管道自重产生的弹性弯曲变形时，管段会产生向上的弹性抗力，因此在抗漂浮核算中管段总重力W1应减去此向上的弹性抗力。式（4.2.2-2）是按照管段两端简支梁模型推算出的，如果两端可以滑动，抗力应小于式（4.2.2-2）的计算值，故有利于管段的稳定安全。

开挖穿越管段虽然按第4.1.2条要求设计埋深应在冲刷深度以下一定深度，但由于各种其他因素的影响，有时会出现埋深达不到设计埋深要求；还有在缺少水文资料或水域水文情况较复杂的情况下，为了安全起见，可以对穿越管段做假设在设计洪水冲刷下出现露管时的稳定性核算，相当于在水中裸管敷设，在水流作用下，水下管段应按下列公式进行抗漂浮、抗移位核算：

≥ （1）

≥ （2）

 （3）

 （4）

 （5）

式中：——单位长度管段总重力（包括管身结构自重、配重层重；不含管内介质重量），对于竖向弹性敷设穿越管段，应减去按式（4.2.2-2）计算的弹性抗力（N/m）；

——稳定安全系数，大、中型穿越工程取1.3，小型穿越工程取1.2；

——单位长度管段静水浮力（N/m）；

——单位长度管段动水上举力（N/m）；

——单位长度管段动水推力（N/m）；

——管段与河床的滑动摩擦系数，根据试验或工程经验确定；无试验时，采用三层PE、环氧粉末涂层的管段与河床摩擦系数可取0.25；采用其它涂层或加配重层的管段，可取0.3；

——浮力系数，取0.6；

——推力系数，取1.2；

——管身结构（含防护、配重层）的外径（m）；

——所穿水域水的重度（N/m3）；

——管段处设计洪水水流速度（m/s）；

g——重力加速度，取9.80（m/s2）。

## 4.3 防护工程设计

**4.3.1** 水域挖沟法穿越的防护工程，对保证管道的安全至关重要，应根据不同的地形地貌、地质条件、水文条件及防洪评价、水土保持等相关评价的要求合理进行防护设计。

**4.3.2** 在河流上设置导流工程会改变河流的正常流态，即改变了河床原来的冲淤规律，一般不允许设置，仅需要对岸坡做必要的防护。本条提醒设置导流构筑物时的考虑因素。

**4.3.3** 选用建筑材料是保证防护工程质量最基本的要求，填筑材料宜就地取材，但不能采用影响填筑体稳定性的土壤种类。

**4.3.4** 对防护工程采用与穿越工程同等的设计洪水频率是必要的，以保证防护工程的功能。

**4.3.5** 对于冲刷深度较深的河流，若要求防护工程基础埋设于冲刷线以下1m，其工程量和施工难度很大，基于水利工程、公路工程的经验，采取了一定范围和体积的抛石、石笼、混凝土柔性板等可靠措施后，防护工程的基础底面标高可以适当提高。

**4.3.10** 为保证护岸与调治工程的稳定性，本条规定应对其坡面进行抗滑稳定性核算。

**4.3.11** 护坡工程浆砌石的厚度、干砌石砌块尺寸的计算是依据砌块的重量要大于等于水流动力作用的条件推算得出的。设计人员在设计护坡时，应提出选用护坡砌块厚度、尺寸的要求，防止因动水作用损毁护坡。本次修订增加了浆砌石护岸最小厚度的要求。

**4.3.12~4.3.13** 石笼是防护工程中常用的措施之一，特别在已建工程中应用很多。如马惠宁输气管道在环江穿越中，采用石笼护基、护脚，兰成渝成品油管道、忠武输气管道也在穿越中采用了石笼护基、护脚。为此，这两条规定提出了铺砌石笼的要求与河底护管长度的要求。

**4.3.14~4.3.15** 采用柔性混凝土板作为防止水流冲蚀、保护护坡基础或河床，在水利部门、交通或铁道部门也是经常采用的措施。这两条规定了采用混凝土柔性护板的条件、连接方式及敷设长度等要求。

**5 定向钻穿越设计**

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 水平定向钻法敷设穿越管段是一项成熟的非开挖穿越技术，已在穿越水域、公路、铁路和其他地面障碍物工程中被大量采用。定向钻的穿越断面选择和其他穿越方法的断面选择有相同之处，管段布置（出入土点和穿越曲线）要在水域形态稳定的场地上。还要求考虑穿越施工条件，场地大小满足钻机系统设备布置和管段组装、试压等工序需要，但场地的情况可以按照具体的工程作出调整。

**5.1.2** 在岩石区段，由于岩性、风化程度的变化，岩石中裂隙、破碎带的存在，定向钻穿越钻孔会存在成孔不规则问题，另外清孔难以达到理想效果，钻孔内可能存在坚硬的碎石块；卵石层、砾石层穿越对穿越管体形成较强的摩擦；这些现象都可能造成管段回拖时卡管、擦管，刮伤防腐层或划伤钢管。故强调定向钻穿越回拖时应做好管段的外侧防护措施，如直接采用耐划伤的防腐涂层，或在防腐层外部连续涂覆耐磨保护层。

**5.1.4** 穿越管段的管端临时封头是必要的，其他焊接于管体上的附件（一般是管段试压中焊接上的）必须在回拖之前切除，保持穿越管段外壁光滑，外防腐层连续。附件不仅有可能造成阴极保护漏电失效，更、危险的是附件可能造成管道的直接破坏。

**5.1.5** 本条是根据国家对环境保护要求提出的，强调采用环保型泥浆，并将用过的泥浆进行处理后循环使用，不仅避免了环境污染，更增加了泥浆材料的使用率，降低了工程费用。泥浆主要由优质膨润土加上泥浆添加剂构成。泥浆添加剂按照功能不同可分为提粘剂、降粘剂、降失水剂、润滑剂、防塌剂等，可采用纤维素类（如CMC）、淀粉类、单宁类泥浆助剂等。这些助剂已能够满足泥浆工艺各方面的要求，具有多方面的优越性。

**5.1.6**  本条是根据工程实例提出的。某工程在浙江一处穿越工程中，钢管内充入一定体积的水回拖（未全部充满），至入土端上抬时，由于端部水体在重力作用下向曲线底部流动，形成管端真空，造成负压失稳，拖出的管端压溃。通过近几年的工程实践，大口径管道一般在管道内设置PE管注水，形成沿长度的均匀配重，而不在穿越管段内直接注水。

## 5.2 敷设要求

**5.2.1** 水平定向钻入土和出土角大小是与埋深和曲率半径有关的，根据钻机性能和工程经验规定了本条的角度要求。特殊条件下，入土角与出土角可适当加大或减小，比如要求河堤下方埋深较大时可加大出入土角；在穿越山体、短距离穿越公路或其他障碍物时可以采用更小的出、入土角度。

**5.2.2** 水平定向钻穿越曲线段，均为弹性曲线敷设。曲率半径越大，管段承受的弯曲应力越小，管段回拖阻力相对越小，亦可降低对防腐涂层的损伤。根据国内外大量的工程经验，本条规定曲率半径不宜小于1500D；特殊条件下若达不到较大的曲率半径，也可以采取1200D。有条件时尽量选取较大的曲率半径。

**5.2.3** 受现场建构筑物的间距条件制约，定向钻曲线可能布置水平转角以躲避障碍物。一般说来，不建议把水平转角曲线段与竖向转角曲线段重叠，因为这样会产生空间曲线，其曲率半径要小于前两者。在设计过程中，定向钻曲线需要躲避平面图中的地表障碍物和纵断面图中的不利地层，故平面曲线和竖向曲线是分别绘制的，若两者的曲线段存在叠加，则产生空间曲线，此时需要核算空间曲线的曲率半径是否满足弹性敷设曲率半径要求。

国内规范一直未给出空间曲率半径的计算方法，本次规范修订引用了德国定向钻规范《DCA Technical Guidelines-Information and Recommendations for the Planning,Construction and Documentation of HDD Projects》中第4.1.2.2条内容。

**5.2.4** 穿越管段管顶设计埋深应低于洪水冲刷深度或疏浚深度以下6m，是考虑了地层结构的稳定性和抗压裂的稳定性，保证成孔稳定性要求；且考虑定向钻穿越存在深度的偏差等因素。尤其是近几年我国油气输送管道口径不断增大，如西气东输二线管道直径达1219mm，过去D1016管线在沁河、淮河的水平定向钻穿越中曾出现过冒浆、塌陷现象，随着管径的增大，复杂地层中的穿越难度大为增加。为此，设计人员应根据地质条件，结合穿越河段水利部门的要求，并且要考虑挖砂、清淤、船舶抛锚、冒浆等不利影响，做出合理的穿越曲线设计。

**5.2.5** 近年来，随着国内管道整体规划，管廊带规划也日益增多。为保证穿越管道和邻近管道设施的安全，本条规定了并行、上下平行、交叉及同孔回拖的定向钻穿越轴线要求。

**5.2.6** 地层中钻孔的成孔性是水平定向钻能否敷设穿越管段的关键，在卵石层、砾石层、破碎岩层穿越时，成孔困难，易出现卡钻或卡管；在破碎岩层中，由于岩性软硬变化也影响成孔顺直，易发生错台现象，不利于管段回拖。当两侧地质条件复杂时，可采取加套管隔离、开挖换填、地质改良等措施，为定向钻扩孔、回拖创造条件。

**5.2.7** 本条针对定向钻对穿的两个条件提出了要求。首先，当定向钻一次穿越长度过长（一般超过2000m）时，钻杆在钻孔中受推力作用下的稳定性难以满足要求；其次，当两端夯套管时，定向钻单穿施工可能存在定位偏差，钻具难以进入出土端套管的情况。这些情况处理不好都会给工程带来一定风险。

## 5.3 管段计算

**5.3.3** 本条计算穿越管段回拖力是依据管段在泥浆中的浮力扣除自重后产生的摩擦力，再加上拖管前进时管段在泥浆中的粘滞力，形成必须要满足的回拖力。由于回拖时边界条件复杂，故在选择钻机时应有一定的安全裕量；根据国内外多年施工经验，一般按1.5倍~3.0倍的回拖力作为钻机选型的依据。

根据Jeffrey S. Puckett在”Analysis of Theoretical Versus Actual HDD Pulling Loads”中的分析，泥浆的粘滞系数取0.025psi较为合适，将其单位转换为公制为0.175kN/m2。

对于设置了保温层钢管的定向钻穿越管道，其回拖力计算的公式与无保温层钢管定向钻穿越略有不同。对于设置保温层的钢管，计算浮力和泥浆黏滞力时，应按照管身外径计算，计算钢管重量时，应按照钢管外径计算，而无保温层钢管在计算回拖力时，则不必区分管身外径和钢管外径，故在本版中对计算公式进行修订。

管道回拖时，应对管道的净浮力进行计算，避免回拖力过大。配重措施宜采取内设PE管冲水进行配重。某工程在浙江一处穿越工程中，钢管内充入一定体积的水回拖（未充满），至入土端上抬时，由于端部水体在重力作用下向曲线底部流动，形成管端真空，造成负压失稳，拖出的管端压溃。通过近几年的工程实践，大口径管道一般在管道内设置PE管内注水或PE管外注水，形成沿长度的均匀配重，而不在穿越管段内直接注水。

**5.3.4** 根据近年来国内管道在水平定向钻穿越施工回拖中的经验，钢管发生外压下的径向屈曲失稳，可依据《材料力学》中的铁摩辛柯公式核算，本条列出了径向屈曲失稳的核算公式。本条与《化工容器设计》（作者王志文，化学工业出版社出版）取式不同，原因是化工容器设计中规定了初始圆筒椭圆度小于0.5%，管道行业实际使用的管材在制造、运输、施工后都超过此规定，故不宜采用。我们将铁摩辛柯公式与现行国家标准《海底管道系统规范》SY/T6328和美国的《套管、油管和钻杆使用性能通报》API Bul5C2规定的计算作了分析对比，以Φ711×8.7mm L415钢管为例，在考虑了规定的安全系数后，允许的承载外压铁摩辛柯公式为0.448MPa，《石油天然气工业套管、钻杆和管线管性能计算》SY/T6328-1997公式为0.487MPa，API Bul5C2为0.59MPa。管道扩孔回拖时，可能遇到的不利因素较多，而且只有铁摩辛柯公式和海洋管道标准考虑了钢管屈服强度的影响，为安全计，本条采用铁摩辛柯公式。

本条采用的设计系数是参照《海底管道系统规范》SY/T10037，材料与作用因素三项最大值，得安全系数为1.59；鉴于回拖过程中不可预见因素较多，取0.6的设计系数，其安全系数达1.67，高于《海底管道系统规范》SY/T10037标准。

穿越管段强度设计系数容易与钢管的强度设计系数混淆，故本次修订在公式中直接取值0.6。

**6 隧道穿越设计**

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 本条对山岭隧道和水域隧道位置选择提出了5项具体要求。

其中第5款中30m指的是与竖井外缘的距离，本款对隧道竖井选择时应考虑的周边环境给出了要求，一方面便于场地布置，另一方面为了降低施工对周围建构筑物的影响及对居民日常生活影响。本次修订删除了竖井与永久性架空线路的具体要求，在实际工程中受规划限制很多管道与架空线路在同一走廊带内，无法满足间距50m的需求，且电力主管部门对于实际工程一般要求不能在架空线路保护范围内施工，各个地方对于架空线路的保护范围又不尽相同，所以本次修订对于架空线路不再做具体的距离要求，实际工程中间距应满足电力主管部门要求，并按照主管要求采取限高等保护措施。

**6.1.2** 强调隧道位置选择应避开溶洞、暗河及采空区等不良地层。

**6.1.4** 隧道结构的净空尺寸，在满足管道安装和维护及隧道施工工艺要求的前提下，应考虑施工误差、结构变形和后期沉降等影响而留出必要的余量。

1 施工误差一般包括：

1）由于施工测量、放线、铺轨、盾构推进、结构陈放或顶进引起结构或线路在平面位置和高程上的偏离；

2）由于施工立模、浇注混凝土时模板变形等造成结构净空尺寸的变化；

3）矿山法隧道施工时的超挖；

4）装配式构件的制作和拼装误差等。

2 盾构推进过程中相对中心位置的偏离，即所谓上下左右的“蛇行”，在盾构隧道的施工误差中占有相当的比例。

3 隧道后期沉降量与地层条件和施工方法等因素有关。在软黏土地层中要注意地面超载、地下水变动、土体卸载之后再加载以及在反复作用引起的位移。

4 在确定隧道净空尺寸时，必须根据工程的具体情况，综合考虑地质条件、隧道埋深、作用状况、施工方法、结构类型及跨度等各种因素，参照类似工程的实践设定。当隧道内布置多条管道时，隧道内一般保留不小于500mm的巡检通道。

5 盾构隧道的设计内径与输送管道的数量、直径等有密切的关系。

**6.1.5** 盾构法隧道埋深应根据隧道功能、地面环境、地下设施、工程地质和水文地质条件、盾构特性、施工方法、开挖断面的大小等确定。

盾构、顶管隧道的合理覆土厚度，对保证隧道施工和运营安全、降低工程投资、缩短施工周期至关重要。日本规范中提出盾构隧道顶部必要的覆土厚度一般为1.00D～1.5D（D为隧道外轮廓直径）；《给排水工程顶管技术规程》（CECS246:2008）中第5.4.1、5.4.2、5.4.3条对顶管穿越覆土厚度作了规定，主要如下：

1）5.4.1顶管覆土厚度在不稳定土层中宜大于管道外径的1.5倍，并应大于1.5m。

2）5.4.2穿越江河水底时，覆土层最小厚度不宜小于管道外径的1.5倍，且不小于2.5m。

3）5.4.3在有地下水地区及穿越江河时，管顶覆土厚度尚应满足管道抗浮要求。

美国标准Standard Construction Guideline for Microtunneling (CI/ASCE36-01)指出：管顶覆土厚度主要考虑降低掘进时的施工风险，最小不宜小于1.0倍设备外径，并不小于1m。

本次修订根据上述具体要求，结合油气管道的重要性及冲刷深度存在一定的不确定性，同时结合原规范的使用情况，对盾构（顶管）覆土厚度进行了修订，增加了小型穿越工程的覆土厚度要求。

**6.1.8** 隧道的弃渣场位置选择、支挡构筑物的结构设计，对于下游安全和环保关系重大，设计中应充分重视，应按照环境影响评价报告的要求进行。弃渣场地选择应结合线路走向、管道进出洞要求设计，不应影响后续工程的开展。

**6.1.10** 为保证施工人员、隧道结构和相关构筑物安全，隧道施工应进行相关监测，监测范围包括隧道结构和洞内外施工环境，对突发的变形等异常情况应启动应急响应方案。隧道结构监控量测内容应包括围岩及隧道结构沉降量测，必要时，还应进行衬砌应力等量测；隧道环境监控量测应包括地表沉降观测、邻近建（构）筑物变形量测和地下管线变形量测等，应根据结构状况、重要程度、影响大小对邻近建（构）筑物有选择地进行。

**6.1.11** 根据《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153的3.2.1条规定，结合管道隧道使用、运营特点，对隧道结构进行安全等级分级。

## 6.2 作用与作用组合

**6.2.1** 施加在隧道结构上的作用（荷载），如地层压力、水压力、地面各种作用及施工作用等，有许多不确定因素，所以必须考虑每个施工阶段的变化及使用过程中作用的变动，选择使结构整体或构件的应力为最大、工作状态为最不利的作用组合及加载状态来进行设计。

**6.2.2** 水压力的确定应注意以下问题：

1 作用在地下结构上的水压力，原则上应采用孔隙水压力，但孔隙水压力的确定比较困难，从实用和偏于安全考虑，设计水压力一般都按静水压力计算；

2 在评价地下水位对地下结构的作用时，最重要的三个条件是水头、地层特性和时间因素。

**6.2.4** 目前公路及铁路行业规范中对于矿山法隧道均采用破损阶段法设计，故本条引用了《铁路隧道设计规范》TB 10003-2016 第5.1.3条。在隧道结构上可能同时出现的荷载，按最不利组合进行荷载计算和结构设计，一般设计常用荷载组合如下：

（1）深埋隧道：结构自重+结构附加恒载+围岩压力。

（2）深埋隧道（需要考虑外水压力时）：结构自重+结构附加恒载+围岩压力+静水压力及浮力。

（3）浅埋隧道：结构自重+结构附加恒载+围岩压力+浅埋隧道上部及破坏棱体范围内的设置及建筑物荷载。

（4）浅埋隧道（需要考虑外水压力时）：结构自重+结构附加恒载+围岩压力+浅埋隧道上部及破坏棱体范围内的设置及建筑物荷载+静水压力及浮力。

（5）浅埋隧道地震工况：结构自重+结构附加恒载+围岩压力+浅埋隧道上部及破坏棱体范围内的设置及建筑物荷载+地震荷载。

（6）明洞衬砌：结构自重+结构附加恒载+围岩压力+土压力+落石冲击力或地震荷载。

**6.2.6** 对于深埋隧道松散压力作用概率统计特征有如下研究结论：

1 隧道塌方是岩体发生松散破坏的最直接表现。分析研究中建立了具有1046个样本的塌方数据库，将其按数理统计原理，进行塌方高度的概率参数统计，又用K-S检验法对分布概形优度拟合检验，得到最优分布概形为正态分布。

2 计算深埋隧道衬砌时，围岩压力按松散压力考虑。目前常用的计算方法有概率极限状态法与破损阶段法，本标准推荐按破损阶段法计算。

**6.2.7** 超静定结构（如拱式结构、钢架等）由于温度变化及混凝土收缩引起的变形将产生截面内力，如连续钢架式棚洞对温度变化及混凝土收缩均很敏感，以往设计曾考虑了这部分应力。

混凝土收缩的原因，主要是由于水泥浆凝结而产生，也包括了环境干燥所产生的干燥现象。

混凝土收缩有下列现象：

1）随水灰比增长而增加；

2）高等级水泥的收缩较大，采用外加剂时也会加大收缩；

3）增加填充骨料可减少收缩，并随骨料的种类形状及颗粒组成的不同而异；

4）收缩在凝结初期比较快，以后逐渐迟缓，但仍持续很长时间；

对于钢筋混凝土结构，当混凝土收缩时，钢筋承受力，阻碍了混凝土部分的收缩变形，并使混凝土承受拉力。

分段灌注的混凝土结构和钢筋混凝土结构，因收缩已在合拢前部分完成，故对混凝土收缩段的影响可予酌减，拼装式结构也因同样理由可酌减。

## 6.3 矿山法隧道设计

**6.3.2~6.3.3** 本条对山岭隧道平面设计、纵断面设计提出了具体要求。平面上宜直线布置，便于运输、测量监控，特殊条件下亦可选用折线形隧道，折线转角处半径与油气管道曲率半径相适应；纵断面上宜采用人字坡，便于自流排水，对于寒冷地区建议坡度适当加大到0.5%以上。

**6.3.4** 本条对山岭隧道的洞口位置选择提出了基本要求，隧道洞口除了考虑自然条件如地形、地质、水文、交通、水电等之外，还应考虑管道安装的需要及后期运营维护的便利性。

**6.3.8** 隧道衬砌因其通过的地质情况、结构受力、计算方法以及施工条件的不同，有整体式衬砌（模筑混凝土衬砌及砌体衬砌）、复合式衬砌（内、外两层衬砌组合而成）、喷锚衬砌（喷射混凝土、锚杆喷射混凝土、锚杆钢筋网喷射混凝土、喷钢纤混凝土衬砌）等形式。

喷锚衬砌是一种加固围岩、抑制围岩变形，积极利用围岩自承能力的衬砌形式。它具有支护及时、柔性、密贴等特点，在受力条件上比模筑衬砌优越，对加快施工进度、节约劳动力及原材料、降低工程成本等效果显著，亦能保证管道运营安全，应予推广。

复合式衬砌由内、外两层衬砌组合而成。通常称第一层衬砌为初期支护，第二层衬砌叫做二次衬砌；复合式衬砌内外两层组合的方式有喷锚与整体、装配与整体、整体与整体等多种，一般常用的是喷锚与整体的组合。其优点是能充分发挥围岩的自承能力，调整衬砌受力状态，充分利用衬砌材料的抗压强度，从而提高衬砌的承载力。

整体衬砌是一次衬砌成形的传统形式，施工进度较慢，目前矿山法隧道较少采用。

衬砌结构类型及强度，必须能长期随围岩压力等承受作用，而围岩压力等作用又与围岩级别、水文地质、埋藏深度、结构工作特点等有关，因此在选定时，可根据这些情况考虑。此外，衬砌结构的选用还受施工方法、施工措施等影响，因而还需考虑施工条件等。鉴于地下结构的工作状态极为复杂，影响因素较多，单凭理论计算还不能完全反映实际情况，为了使理论与实践相结合，选用的衬砌更为合理，除根据以上因素外，还要通过工程类比和结构计算并适当考虑工程误差确定。

**6.3.9** 对设置衬砌时应符合的各项规定说明如下：

1 隧道边墙一般有直墙和曲墙两种，一般隧道开挖后，围岩均会产生较大侧压力导致衬砌破坏，故一般跨度不大于5m的小断面隧道可采用直墙式衬砌，大断面隧道应采用曲墙式衬砌，尤其严寒地区洞口若不封闭，洞内冬季会冰冻，会产生较大侧压力导致衬砌破坏，更应采用曲墙式衬砌。

2 当隧道外侧山体覆盖较薄，地面横坡较陡，或因洞身岩层构造不利，层面倾斜较陡，有顺层滑动可能以及施工坍塌产生围岩松动、滑移等情况而引起明显偏压的地段，为了承受不对称的围岩压力，应采用偏压衬砌。但也要注意当隧道外侧覆盖厚度过薄，会出现外侧土坡失稳，因而尚应采取设置地面锚杆、抗滑桩或支挡结构等措施。

3 洞口地段，一般埋藏较浅，地质条件较差，受自然条件（雨水侵蚀、冰冻破坏、气候变化等）影响，土质较松散，岩石易风化，稳定性较洞内差，衬砌受力情况也较洞内不利，如有时受仰坡方向的纵向推力等。因此，洞口应设置洞口段衬砌或加强衬砌。根据经验，本款规定应不小于5m的加强衬砌长度。

4 在洞身地质条件变化地段，围岩压力是不相同的，为了避免强度不够，引起衬砌变形，围岩较差地段的衬砌及偏压衬砌段应适当向围岩较好的地段延伸，以起过渡作用，延伸长度应视围岩的具体变化情况而定，一般延伸5m～10m。

6 在洞身有明显的硬软地层分界处，由于地基承载力相差很大，前后衬砌下沉不匀，往往造成破裂，甚至引起其他病害，此时应设置变形缝。

**6.3.10** 采用复合式衬砌有关规定说明如下：

1 复合式衬砌的初期支护多采用喷锚支护，具有支护及时、柔性的特点，并在一定程度上能够随着围岩的变形而变形，力求最大限度地发挥围岩的自承能力。根据围岩条件，复合衬砌初期支护采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等支护形式单一或组合施工，并通过监控量测手段，确定围岩已基本趋于稳定，再进行内层二次衬砌施工。

2 影响二次衬砌受力状态的因素很多，除围岩级别、地下水状态、隧道埋置深度外，还有初期支护的刚度、隧道断面大小及其施作时间等，故设计二次衬砌时，应综合考虑各种因素的影响，以期达到经济安全的目的。目前，多采用工程类比法设计二次衬砌。

二次衬砌一般受力比较均匀，为防止应力集中，故宜采用连接圆顺、等厚的马蹄形断面。

3 表6.3.10中复合衬砌的设计参数，是根据国内外铁路(公路)隧道支护参数统计、类比，结合专家意见进行调研修改的。其中Ⅴ级围岩当初期支护设置格栅钢架时，要求喷射混凝土必须覆盖钢架，并满足保护层厚度要求。

**6.3.11** 采用喷锚衬砌时，应符合的规定说明如下：

1 为确保衬砌不侵入隧道限界，喷锚衬砌内轮廓除考虑按整体式衬砌内轮廓要求放大外，尚应预留50~100mm作为补强之用。喷锚衬砌是柔性结构，厚度较薄，并与围岩共同作用，考虑必要时需要加强喷锚衬砌，以防内轮廓尺寸不够，因此预留。

3 鉴于有水时不利于喷层与围岩的紧密粘结，难以充分发挥喷射混凝土的应有作用，甚至给喷射混凝土带来不利影响；洞内地下水具有侵蚀性的地段，易造成衬砌腐蚀，由于喷层厚度较薄，受腐蚀的危害甚于模筑混凝土衬砌，岩性较软的岩层，开挖后易风化潮解，亲水性很强，遇水泥化、软化、膨胀、围岩压力大，严重者发生淤泥状流淌，稳定性较差，喷锚衬砌难以阻止其迅速的变形；喷锚衬砌抗冻胀性能较差，严寒和寒冷地区，土壤冻胀导致衬砌破坏的危害甚于模筑混凝土衬砌，故大面积淋水地段、能造成腐蚀及膨胀性地层的地段、严寒和寒冷地区不封闭的隧道，不宜采用喷锚衬砌。

**6.3.12** 初期支护应具有合理的刚度，并且在一定程度能够随着围岩的变形而变形；由于喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢架或格栅钢架等的不同作用各不相同，初期支护的刚度与其组成成分有着密切关系。故在设计时应根据工程地质、水文地质、隧道断面尺寸、覆盖层厚度等条件选择初期支护的组成部分，确定初期支护的刚度时，除上述因素外，还应考虑地面及地下建筑物的种类及状态和使用目的等因素；当隧道所在地区对地表下沉量有严格限制时，在此条件下，应进行现场试验，防止单凭经验处理问题。在松散、胶结性差的地层中可加设钢筋网，以提高喷射混凝土与受喷岩面间的粘结力，防止喷层剥落和松散介质坍塌。型钢钢架具有拼装施工效率高、刚度大等优点，在软弱围岩、破碎带等不良地质段落隧道施工中得到广泛应用。

在不同地质条件下，使用锚杆的目的也不同。在节理、层理发达的硬岩和中硬岩中，因岩石本身强度高，一般会出现因开挖而使围岩中的应力超过围岩本身强度的现象；在此条件下，采用锚杆的目的在于抑制岩块间的滑动，以保持围岩稳定。在软岩或土砂地层中，往往因开挖而使围岩中的应力超过本身的强度，从而在围岩中出现塑性区，使净空变形加大，此时采用锚杆的目的在于限制塑性区的产生及发展，尽力减少围岩变形，以达到稳定围岩的目的。

锚杆类型可分为端头锚固型、全长粘结型、摩擦型、预应力锚杆等。

**6.3.18** 隧道设计应采取下列施工防水、防坍塌措施，保证施工安全。

1 留设隔水岩柱

一般山岭矿山法隧道，其顶面上覆盖层厚度一般不小于隧道横断面高度的2.5倍～3倍，但对于水下隧道来讲，在隧道开挖后，受打眼、爆破作业的扰动，围岩原始状态遭到破坏，从而产生导水裂隙或使原裂隙扩张导通，因此必须留设隔水岩柱将河水与开挖隧道“隔离”，防止涌水，保证施工安全。“隔水岩柱”实际就是隧道埋深，参照煤矿水下采煤方法在采区顶部保留一定厚度的隔水岩柱，以防止水的侵入。一般而言隧道顶与水体之间的竖向距离不宜小于隧道横断面高度的10倍。防水侵入的保护岩层厚度按下式计算：

 （6）

其中：*S* —— 保护岩层的厚度，m ；

*H* —— 水头高度（水深与隧道最小埋深之和），m ，要考虑顶部基岩的预水裂隙长度；

*B* —— 隧道毛断面宽度，m ；

*F* —— 围岩的强度系数；

*C* —— 风化层厚度，m 。

2 超前探水

对于有的围岩，裂隙发育或岩石破碎，甚至有断裂带，断裂带中充填物胶结不实等情况下，仅留隔水岩柱隔水是不够的。为了确保开挖面安全作业，设计应要求施工中必须向开挖面打超前钻“探水”。探水钻孔有两个作用：一是根据探水钻孔所取岩芯判断开挖前方岩石破碎情况，裂隙发育程度等（因为工程地质勘察时，按详勘要求一般钻孔孔距50-200m，孔与孔之间地层情况很难预测）；二是根据钻孔流水流量判断裂隙是否导水，是否与河水有水力联系（一般流水是清水而不带黄色说明与河水无水力联系），从而确定是否需要采取进一步措施治水。一般超前探水钻孔3个，钻孔口应有防突水措施（在孔口安装闸门），一个钻孔取岩芯，两个不取岩芯，钻孔长度一般30m～50m，孔径为100m～150mm，钻孔搭接长度10m。钻孔外插角一般3º。

3 超前地质预报

根据围岩状况，对于断层较多，围岩破碎的隧道除了要进行超前钻孔探水外，还应进行超前地质预报，采用CQTC—1、TSP等超前地质预报探测系统，可以探测前方各种地质构造、破碎带、充水带，与超前探水结合，有效地避免大量涌水、坍塌等地质灾害，确保施工安全。

4 注浆堵水

超前钻探发现开挖面前方出现异常状况，围岩破碎，裂隙发育，钻孔水流量大，不采取措施施工难度较大且存在较大风险时，应立即停止开挖作业，采取注浆措施“堵水”，以防止大量的裂隙水涌入开挖面。

## 6.4 盾构隧道设计

**6.4.1** 盾构法隧道穿越对地层的适用性很强，能较好地适应地层的复杂性，适宜长距离穿越。盾构法隧道穿越通过密闭的操作空间和切削刀具以及合理的泥浆配比，可以充分适应各种地层，并有效确保人员的安全；通过选用良好的密封设备，其承压能力可有效的防止掌子面坍塌；通过同步注浆可对环片与地层的间隙以及裂隙进行填充，防止大量的涌水。但盾构隧道具有投资高、施工工期长的特点。因此，应依据具体的工程地质、水文、环境、穿越工程条件与其他可能的穿越方式进行详细的经济、技术比较，推荐最优的穿越方案。

**6.4.2** 本条对盾构隧道纵断面设计提出了具体要求。

1 纵断面线形主要有“一”字形、“U”字形和倒“J”字形，见图1、图2、图3。目前，“U”字形纵断线由于可减小竖井深度，节省工程总投资而常常被采用。盾构机掘进坡度应根据具体地质条件、设备配套爬坡能力确定，单坡度过大运送管片的轨道车马力要加大，并且要增加一些自动可靠的制动机构，另外大坡度对管片的组装技术要求增高，因此一般坡度不超过5%；对于某些较为特殊的工程，纵断面布置受限，纵断面设计坡度可突破5%的限制，同时应定制爬坡能力相匹配的盾构机并对管片等物资运输方案进行详细设计。盾构隧道曲率半径一方面应满足管道安装及受力要求，另一方面应满足盾构掘进施工曲率半径要求，从隧道施工设备的转弯能力和管道安装来提出的要求。



图1“一”字形纵断线  


图2“U”字形纵断线



图3倒“J”字形纵断线

2 采用盾构隧道穿越防洪堤坝时，易出现堤坝和地面的沉陷。为此，本条规定防洪堤脚下隧道最小埋深，以控制堤坝和地面的沉降量，必要时采用处理措施，防止隧道穿越处堤坝发生沉降变形，危及堤坝安全。

3 盾构机进洞、出洞是整个盾构隧道穿越的一个风险点，宜避开强透水层，避免发生涌水涌砂等事故。不能避开时，可选用注浆法、旋喷桩、搅拌桩、冻结法或多种方法的组合进行加固。加固后的土体均须达到设计要求的强度，起到防塌、防水作用。必须现场取芯做强度、抗渗和土工试验验证加固效果，如不能满足设计要求时，应分析原因并采取补强措施，以保证盾构始发和接收安全。

第4款和第5款，规定了盾构隧道穿越宜避开的地层。工程地质条件对隧道轴线选择往往起决定性作用，隧道轴线应选择在岩性较好、稳定的地层中通过，避免穿越地下水发育、岩溶发育、岩性较差、地质条件极为复杂或严重不良的地层，以免增加设计、施工的风险和困难。

**6.4.3** 从隧道使用功能、设计条件、盾构掘进施工和管道安装等方面考虑，隧道平面线形最好选用直线。但因受竖井位置、地表或地下障碍物、用地条件等的制约，需采用曲线时，应尽可能采用大半径曲线；当不得不采用小半径曲线时，应按有关施工标准的要求采取相应的施工措施，并制定相应的施工方案。根据《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446-2017第8.1.1条、第8.2.2条及条文说明，本规范提出隧道平面线形不宜小于小半径曲线的曲率半径，即40倍盾构外径，且应满足隧道内管道安装要求。

**6.4.4** 盾构隧道施工多采用土压平衡式盾构机和泥水平衡式盾构机。根据具体地质、水文条件确定。盾构机选型可参考表2。

表2 盾构隧道盾构机选型表

| 地质条件 | | | 土压平衡式 | | | | 泥水平衡式 | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土压 | | 泥土压 | |
| 地质  分类 | 土质 | N值 | 适用性 | 问题 | 适用性 | 问题 | 适用性 | 问题 |
| 冲积黏性土 | 腐殖土 | 0 | X |  | △ | 地基变形 | △ | 地基变形 |
| 淤泥黏土 | 0-2 | ○ |  | ○ |  | ○ |  |
| 砂质淤泥及  砂质黏土 | 0-5 | ○ |  | ○ |  | ○ |  |
| 5-10 | ○ |  | ○ |  | ○ |  |
| 洪积  黏土 | 黏土 | 10-20 | △ | 土砂堵塞 | ○ |  | ○ |  |
| 砂质黏土 | 15-25 | △ | 土砂堵塞 | ○ |  | ○ |  |
| 25以上 | △ | 土砂堵塞 | ○ |  | ○ |  |
| 软岩 | 硬黏土及泥岩 | 50以上 | △ | 土砂堵塞 | △ | 刀具磨损 | △ | 刀具磨损 |
| 砂质土 | 淤泥黏土混砂 | 10-15 | ○ |  | ○ |  | ○ |  |
| 松散砂土 | 10-30 | △ | 细颗粒含量 | ○ |  | ○ |  |
| 密实砂土 | 30以上 | △ | 细颗粒含量 | ○ |  | ○ |  |
| 砾砂及  卵石 | 松散砾砂 | 10-40 | △ | 细颗粒含量 | ○ |  | ○ |  |
| 固结砾砂 | 40以上 | △ | 地下水压力 | ○ |  | ○ |  |
| 混有卵石砾砂 | — | △ | 刀具磨损 | ○ |  | △ | 刀具磨损；输浆管堵塞 |

注：X—原则上不适用的土质条件；

△—应用时要研究辅助工法及辅助机构等；

○—原则上适用的土质条件。

**6.4.5** 与公路、铁路盾构隧道不同，油气盾构隧道不需要在环片内施作二次衬砌，单层环片结构即可满足油气管道运营的需要。为了取得较好的经济效益，在工程地质条件好、周围土层能提供一定抗力的条件下，衬砌结构可以设计得柔一些，但圆衬砌环变形的大小对结构受力、接缝张角、接缝防水、地表变形等均有重大影响，故必须对衬砌结构的变形进行验算，作必要的控制。

**6.4.6** 衬砌结构的计算简图应根据地层情况、衬砌的构造特点及施工工艺等确定。

**6.4.7** 本次修订增加隧道管片结构内力的计算公式，本公式源自日本隧道设计规范。

**6.4.8** 隧道的抗漂浮稳定性及地基承载力验算要求。

1 对隧道进行抗漂浮验算的主要目的是避免隧道在施工、运营期间发生上浮现象，发生上浮现象的原因包含埋深过浅或地震状态下的砂土液化。根据其他抗漂浮稳定性的设计要求，抗漂浮稳定性系数一般取1.15，故本规范做此规定。

2 盾构隧道结构的地基承载力验算主要包含隧道施工及管道试压时的验算，隧道充水运行或填埋运营时竖向载荷更大，必须验算。施工时的地基承载力验算主要考虑如果地基承载力过低，会造成盾构设备磕头，姿态难以控制，此时应对该段进行地基加固；试压时，特别是竖井附近第一个管道支墩处，由于竖井内数十米的试压水柱集中作用，可能造成局部地基承载力不足，应扩大该支墩基础或在井底加设临时的管道支撑措施，降低竖向集中作用。地基承载力过低的地层不应采用隧道内充水或填埋运行。

**6.4.9** 装配式衬砌的构造要求。

1 装配式衬砌结构的环片之间均用螺栓连接，虽有施工操作繁琐、用钢量大的缺点，但可增加隧道抵抗变形的能力，有利于保证施工精度、施工安全及衬砌接缝防水，故在软弱、含水、承载力差的土层中多选用螺栓连接环片。

环片按其螺栓手孔的大小，通常有箱形和平板之分。当衬砌较厚时，为减轻自重，常选用腹腔开有较大、较深手孔的箱形环片；环片较薄时，为了能承受施工中盾构千斤顶的顶力，则以选用较少开孔的平板形环片为宜。

2 选用较大的环宽，可减少隧道纵向接缝和漏水环节、节约螺栓用量、降低环片制作费和施工费、加快施工进度，但受运输和盾构及机械设备能力的制约，故应综合考虑。

3 钢筋混凝土环片的厚度视隧道直径、埋深、工程地质和水文地质条件的不同，可参照下表3选取，且一般不小于200mm。

表3 管片厚度建议取值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 隧道外径D（m） | 2≤D＜5 | 5≤D＜8 | D≥8 |
| 管片厚度（m） | 0.06D～0.1D | 0.05D～0.06D | 0.04D～0.05D |

**6.4.11** 管片壁后注浆包括同步注浆、即时注浆及二次补强注浆等，同步注浆和即时注浆应与盾构掘进同步进行；根据隧道稳定状态和环境保护要求，可进行二次补强注浆，注浆量与速度应根据环境条件和沉降监测结果等确定；注浆材料应满足强度、流动性、稳定性、可填充性、凝结时间、收缩率、环保等要求。

## 6.5 顶管隧道

**6.5.1** 油气管道顶管机选型根据工程条件确定，多采用土压平衡式或泥水平衡式顶管机，可按表4经技术比较后确定。

表4 顶管机选型参考表

| 地层 | 顶管机类型 | | |
| --- | --- | --- | --- |
| 土压平衡 | 泥水平衡 | 气压平衡 |
| 淤泥 fd>30kPa | ★★ | ★ | ★ |
| 黏性土含水量>30% | ★★ | ★ | ★ |
| 黏性土含水量<30% | ★ | ★★ | ★ |
| 粉质土 | ★ | ★★ | ★ |
| 砂土 k<10-4cm/s |  | ★★ | ★★ |
| 砂土 k<10-4-10-3cm/s |  | ★ | ★★ |
| 砾砂 k<10-3-10-2cm/s |  | ★ | ★ |
| 含障碍物 |  |  | ★ |

注：★★—首选机型；★—可选机型；空格—不宜选用。

**6.5.2** 本条对顶管隧道的纵断面布置提出了具体要求。

1 限于目前的顶管设备与施工技术水平，顶管多以水平为主，同时考虑排水要求，对坡度作了规定。

2 顶管隧道曲线顶进多指平面内的，其曲率半径应符合管道安装和顶管套管本身顶进的要求。

**6.5.4** 顶管最大顶力计算公式较多，本规范中结合实际使用情况，引用了现行行业标准《给水排水工程顶管技术规程》CECS246-2008的计算公式。本次修订细化了触变泥浆减阻管壁与岩土之间平均摩阻力的取值，其中岩石与触变泥浆减阻管壁摩阻力选取范围较大，当岩石硬度较低、岩石完整、穿越距离较短时取低值，反之则取高值。

**6.5.5** 为克服大段顶进过程中摩擦力的影响，应设置中继站，同时中继站间距不宜过大，以免隧道行程难以控制，造成隧道呈“蛇行”状，影响管道在隧道内布置安装。

## 6.6 竖井工程

**6.6.1** 圆井有利于结构受力，地质条件差时采用；矩形等断面竖井的空间利用率高，且施工（支模，钢筋绑扎等）方便。

**6.6.2** 沉井深度超过50m，均应采取措施。措施中包括设后浇带、用补偿收缩混凝土和增加水平钢筋等。

**6.6.3** 沉井一般需要进行结构计算、下沉验算及抗浮稳定性验算，当沉井距离岸坡较近、沉井周边土体高差较大或者沉降周边土体性质相差较大，有可能发生倾覆或者滑移时尚应进行抗倾覆和滑移验算。

**6.6.6** 沉井平面形状、大小主要由地基容许承载力而定，同时在水流冲刷较大的地方，应考虑阻水较小的截面形式（如做成圆端或尖端）。对于圆形沉井，从外形来说是阻水较小的，但对于外形较大尺寸的沉井，以致反而增大挡水面积，对冲刷不利，所以宜加比较。

棱角处做成圆角或钝角，可使沉井在平面框架受力状态下减小应力集中，同时可减少井壁摩擦面积和便于吸泥（不致形成死角）。做成圆角、圆端形后在下沉过程中，容易形成“土拱”作用，减少侧面土压力，亦即减小土对井壁摩擦力，方便下沉。

沉井井孔的最小宽度应视取土机具而定，一般不宜小于2.5～3m。井孔布置应结合取土机具所能及的范围一起考虑，统筹安排布置。

沉井外壁从主体结构的受力来考虑，最好做成垂直的，以能增强土对沉井的侧向弹性抗力作用，但有时为了顺利下沉的需要，往往又将沉井外壁做成台阶形或斜坡形，不过有些土质中采用台阶形或斜坡形外壁对减少土对井壁的摩擦力未必有效。沉井采用任何形式的外壁，应根据设计要求，地质水文情况、施工技术条件、施工方法等全面考虑确定。

松软土中制造底节沉井，如高度过大容易发生倾斜而且难以纠偏，故一般认为不应大于沉井宽度的0.8倍。

**6.6.10** 本条对桩墙式围护结构的设计进行了规范，说明如下：

1 计算方法。本规范推荐采用侧向地基反力法，其特点是将围护墙视为竖向弹性地基上的结构，用压缩刚度等效的土弹簧模拟地层对墙体变形的约束作用，可以跟踪施工过程，逐阶段地进行计算。由于能较好地反映基坑开挖和回筑过程中各种基本因素，如加、拆撑、预加轴力等对围护结构受力的影响，并在分步计算中考虑结构体系受力的连续性，因而被我国工程界公认为是一种较好的深基坑围护结构的计算方法。当把围护结构作为主体结构的一部分时，还可以较好地模拟围护墙刚度和结构组成随施工过程变化等各种复杂情况。

2 土压力取值。基坑开挖阶段作用在围护结构墙背上的土压力视墙体水平位移的大小在主动土压力和静止土压力之间变化。当墙体水平位移很小时，墙背土压力接近静止土压力，并随墙体水平位移增大而减小，最终达到土压力的最小值，即主动土压力。设计时应根据对围护结构的变形控制要求以及实际的变形情况，结合地区经验，合理确定墙背土压力的计算值。

## 6.7 斜巷工程

**6.7.1** 为了保证洞口正常工作，本条规定采用矿山法施工的山地或水域隧道，应确保洞口在设计洪水频率下不被洪水淹没，使隧道内在施工或运营期间不受洪水影响。

**6.7.2** 斜巷提升难度较大，根据现在施工技术，规定了不同的提升方式的斜巷倾角。

**6.7.3** 斜巷内采用有轨运输，当纵向有变坡时，对提升不利。如纵断面是凹形，钢丝绳与钢轨面之间出现弓形状，可能会撞击顶板，增加钢丝绳的磨损及造成矿车掉道；如纵断面是凸形，车辆行经变坡点，其重心落在后轮时，前轮翘起，稳定性不能保证，极易出现矿车掉道。

**6.7.4** 为确保施工、运营期间人员在隧道里面的通行安全，防止隧道上部滚落的物体对正在隧道内的人员造成伤害，应设置人行道和躲避洞；对超过15°的斜巷，方便人员行走，应设台阶及扶手。

**6.7.5** 为使管道等材料能够进入到平巷段，应在斜巷与平巷段交界处设置马头门。

**6.7.8** 斜巷底部应根据设计计算出水量设置集水坑和相应的排水措施。

## 6.8 工程材料

**6.8.2** 表6.8.2中混凝土的最低强度等级大多是从满足工程的耐久性要求考虑的。为了减少地下超长结构混凝土的收缩应力和温度应力，现浇混凝土结构混凝土的设计强度也不宜采用低于表6.8.2规定的等级。盾构环片及混凝土顶管的强度均不宜低于C50，对于坚硬岩石的顶管、盾构隧道施工应适当提高混凝土强度等级。

**6.8.3** 本条规定的钢管许用拉应力、压应力、剪应力及支承应力。这是依据现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253的规定，并参照美国的《烃类和其它液体输送管线系统》 ASME B31.4的有关规定制定的。

**6.8.5** 盾构隧道钢筋混凝土管片连接螺栓的机械性能等级一般采用4.6级～8.8级。为了保证隧道的使用寿命，对螺纹紧固件表面必须进行防腐蚀处理。

## 6.9 防水与排水

**6.9.1** 隧道防排水设计应遵循防、排、截、堵结合，因地制宜、综合治理、保护环境、防止次生灾害的原则，与《地下工程防水技术规范》GB 50108提出的防排水原则基本一致，补充了保护环境的要求。对地下水的处理除关注结构本身的安全外，还要重视隧道修建过程中的施工安全以及隧道修建对周边环境的影响。

“防”即要求隧道衬砌结构、防水层具有防水能力，防止地下水透过防水层、衬砌结构渗入隧道内。

“排”即隧道有完善的排水系统并得以充分利用，将衬砌背后的渗水、积水排入洞内水沟或集中抽排地点以减小或消除衬砌背后渗水压力、维护结构安全，排得越好，衬砌渗漏水的概率就越小，防水就更容易。但需注意大量排水诱发的不良后果，如:围岩颗粒流失、围岩稳定性降低、次生灾害及水环境的破坏（造成当地农田灌慨和生活用水困难、水体污染）等。

“截”对可能渗漏到隧道的地表水或周边存在来源明确直接补给隧道的水系、溶洞水、采空区积水设置截（排）水沟引排；地表水、坑洼积水等，采取回填积水坑洼地、封闭地面渗漏点、设置截水沟引排，减少地表水下渗；对溶洞水、采空区积水，采取引流措施。

“堵”针对隧道围岩裂隙水、断层水、溶洞水等富水地段或施工中有涌、突水时，采用注浆设堵水墙等封堵地下水方法；因管道运营需要对隧道渗漏水采用注浆、喷涂防水层、嵌填防水材料等措施堵水。

隧道防排水的各种措施是相互影响、相生相克、相辅相成的。因此隧道防排水设计要结合工程的气候条件、水文地质条件、隧道衬砌结构设计、管道运行维护的使用要求、腐蚀防护方案、环境保护要求、工程防水等级、施工工艺及施工水平、工程经济分析等，因地制宜，选择适宜的方法，贯彻综合治理的设计理念，达到保护环境、保障主体施工安全和运营安全的目的。

保护环境为防排水设计的重点，尽可能减少对水环境的影响，防止水土流失，避免次生灾害。

隧道排水系统应根据其工作环境，采取防淤积、防堵塞、防冻结措施，充分考虑其可维护性，保证排水通畅**。**

混凝土或钢筋混凝土结构自防水与接缝防水、特殊部位形成一个完整的防水体系。混凝土自防水为根本，而隧道主要渗漏多发生在接缝处，因此以接缝防水为重点。对于变形缝、施工缝、预留孔洞、预埋件等特殊部位采取加强防水措施。

**6.9.2** 本条是参考《地下工程防水技术规范》GB 50108 的要求，结合管道隧道使用功能需求，本着技术合理、节约投资的原则，对隧道防水等级标准进行明确。隧道四级防水要求相对GB50108中“四级防水”的要求，删除了“整个工程平均渗水量不大于2L/（m2·d）；任意100m2防水面积上的平均漏水量不大于4L/（m2·d）”的相关要求，以符合油气管道隧道的工程实际，合于使用。

**6.9.3** 由于隧道修建的环境条件差异大，重要性、使用要求、运营条件各有不同，有的工程对防水要求高，如穿越长江、黄河需要干式运行的隧道；而有的工程在渗水甚至漏水情况下并不影响正常使用，在同一工程中各部位对防水的要求也不尽一致；另外，隧道修建与环境条件的相互影响，也直接关系到隧道结构、防水措施等的选择，为避免过分要求高指标或片面降低防水的标准，造成工程造价高或维修使用困难，因此，需对隧道防水设计进行定级。

隧道防水等级制订的原则如下：

1 对排水条件良好的山体矿山法隧道，考虑工程造价因素，允许有漏水点，规定最低防水等级为四级；

2 水域矿山法隧道，考虑抽排水困难，适当提高防水等级，减小漏水量，便于检修时对隧道内水的抽排，降低对周边环境的影响，规定最低防水等级为三级。

3 盾构法隧道，从其设计防水措施和实际建造情况看，能够满足三级防水要求，对于水域隧道非干式运营三级防水能满足要求，因此规定最低防水等级为三级；

4 顶管隧道，一般长度较短，维检所需抽排水量也相对较小，对周边环境影响不大，并且通常不要求具备检修条件，因此规定最低防水等级为三级；

5 水域穿越干式运营的隧道，防水要求高，因此不允许漏水，规定其最低防水等级宜为二级。

**6.9.5** 本条文中防水混凝土一般指抗渗等级大于或等于P6级别的混凝土。防水混凝土厚度也就是指抗渗等级大于或等于P6级别的混凝土的厚度。

**6.9.6** 隧道排水是指利用各种排水措施，使地下水能顺着预设的各种管沟排出洞外。隧道内达到自流排水是指隧道内排水沟纵向坡度不小于3‰。对于水下隧道，宜在两岸竖井（斜井）内设置集水坑排水。隧道排水不应对相邻工程产生冲刷等不利影响。对于山岭隧道应在明洞顶设置截水沟，截水沟坡度根据地形设置，并且不应对洞口和相邻工程产生冲刷等不利影响。

**6.9.7** 本条规定了盾构和顶管隧道防水设计要求，明确隧道防水设计应至少包括结构自防水、接缝防水、特殊部分防水设计。本次修订细化了隧道防水措施表，明确规定了不同防水等级时各部位的防水措施选择要求。同时考虑到地层腐蚀对钢筋混凝土预制管片和套管的影响，增加了在中等及以上腐蚀地层穿越，管片和顶管结构迎水面涂抹防腐涂层的要求。

**6.9.8** 盾构及顶管隧道进出洞部位防水极其重要，防水处理不当，可能导致涌水、突泥及地面沉降的发生。进出洞防水措施应根据地质及水文条件、环境要求、竖井结构、进出洞尺寸和深度等因素合理选用，可采用降水、地质改良、加设止水环、止水板等措施。地层改良应根据地质条件采用高压旋喷桩、搅拌桩、注浆法、SMW桩、RJP、冻结法或组合加固措施等。盾构（顶管）进、出洞土体加固范围最小为：长度为主机长度加2m，宽度为主机外缘左右方各3m，高度为主机外缘上下方各3m。当洞口处于砂性土或有承压水地层时，宜采取降水和土体加固组合措施。应对洞口外土体的加固效果进行检查，加固体强度、抗渗指标应经过现场取样试验确定。当洞口处于砂性土或有承压水地层时，应在洞门处打米字形9点水平探测孔，观测加固土体的抗渗性，如发现渗漏水或夹泥砂的空洞必须采取补充加固措施。

## 6.10 隧道内管道安装

**6.10.1** 通过二十余年来国内长输管道隧道工程的建设、运行、维护、治理情况来看，隧道内管道敷设已成了隧道设计中的至关重要的环节。隧道内管道的敷设方式应充分考虑到管道输送的介质、纵断面线型、坡度、隧道断面的大小、运行温度、运行方式、支护形式、敷设管道的数量以及施工方式等条件。目前国内的管道山岭隧道有覆土敷设和架空敷设两种管道敷设方式，考虑到施工功效，更推荐采用架空敷设形式，水域隧道主要采用架空敷设方式。

**6.10.3** 对隧道内管道受力分析除应符合本规范3.2节的相关规定外，还应结合工程实际简化的力学分析模型进行管道应力分析和强度、稳定性校核。当校核结果不满足时，一般根据管道安装条件采取调整管道纵断面线型、控制管道安装温差、优化支座安装形式、调整支座间距、设置补偿等方式达到改善管道受力状况，如果采取以上措施还不满足时应采取调整管道约束等措施。

**6.10.5** 管道支座应根据管道应力分析结果进行布置和选型，当隧道长度较长、管道安装温差较大时，管道除常规滑动支架外，应在需限制管道径向变形位置处设置导向支架。焊口与支座距离一般不宜小于1m，管道变形较大处的焊口应适当加大与径向完全约束的支墩间距。

**6.10.7** 隧道内钢结构长期处于潮湿空气工作环境，受潮气的侵蚀，金属结构表面容易腐蚀，从而危及管道的安全。因此，为了提高防腐层的使用周期，减少生产成本，应采用高质量、附着力强、不易裂缝脱皮、耐水性好的防腐材料。

**6.10.8** 管道同锚固墩（件）之间的良好绝缘，可防止阴极保护电流漏失，是保证管道达到有效的阴极保护所必需的。

**6.10.9** 实际工程中水域运行方式有空置、充水或充填固态物质的三种形式，具体应根据运营需求选择。山岭隧道日常运营时一般会封堵洞门，并设置排水设施及排气管。

**7 直铺管法穿越设计**

**7.0.1** 直铺管穿越的长度除了考虑管径、地质情况、掘进机、推管机及辅助设备的性能外，还应考虑国内的施工水平。该技术在国外成功应用项目已超过108个（不完全统计），800m以内的技术较为成熟，超过800m的只有8处，卵石、砾石等复杂地质穿越最长为860m，考虑直接铺管技术在国内起步较晚，目前实施案例2例，属于新技术起步发展阶段，建议穿越长度不超过800m。

**7.0.2** 直接铺管法是德国海瑞克公司2006年开发的一种集顶管和定向钻技术于一身的非开挖敷管方法。直接铺管法管道敷设的出入土角度、管道线形及铺设方式似定向钻穿越，其掘进形式、推管方式、出渣和导向又相似顶管工艺，因此是定性钻穿越技术和顶管工艺结合的产物，在穿越两边无需竖井，管道按设计曲线一次性完成穿越敷设。由于其工艺特点，对于坚硬岩、高水压地层、软弱地层、发育的溶洞等地质条件适宜性较差，不推荐穿越。

**7.0.3** 本条规定了直铺管穿越曲线的最小埋深，该穿越深度综合了施工难易程度、防洪需要、管道运营期间安全、施工过程中环境保护、运营过程中的第三方破坏等因素。

**7.0.4** 由于直铺管没有顶管的中继间配置，所有前进动力均来自后方的推管机，推管机提供推力用于克服掘进机前进掘进阻力及推进管道的摩擦力，推管机的适宜入土角度为0°～15°，考虑直铺管顶进时需要开挖基坑，0°是有实际工程意义的，因此，规定直铺管入土角为0°～15°。

**7.0.6** 直铺管顶推力计算结合了定向钻回拖力及顶管穿越的顶力两种计算方法，扭矩的计算可参考现行行业标准《油气输送管道工程水域顶管法隧道穿越设计规范》SY/T 7022-2014。

1）直接铺管法穿越管道的直接铺管力可参考下式计算：

 （7）

式中：*F——* 直接铺管推力（kN）；

*usoil——*摩擦系数，一般取0.3；

*L——* 直接铺管长度（m）；

*γmud——*泥浆重度，可取11.5（kN/m3）；

*γ ——*钢管重度，可取78.5（ kN/m3）；

*δ——*钢管壁厚（m）；

*Wp——*供应管道重量（kN/m）；

*D——*管道外径（mm）；

*μmud——*粘滞系数（kN/m2），取0.2；

*PSch——*掘进机阻力，单位为千牛（kN），对岩层、土层应分别计算。

 （8）

式中：*F1——*掘进机外壳和洞壁之间的摩擦阻力，单位为（kN）；

*F2——*掘进机刀盘面水压阻力，单位为（kN）；

*F3——*切削刀具切入岩层（土层）挤压阻力，单位为（kN）。

（1）岩层可按下列公式估算：

 （9）

 （10）

 （11）

式中: *F1——*掘进机外壳与洞壁之间的摩擦阻力 (kN)；

*μ1——*掘进机外壳与洞壁之间的摩擦系数，可取0.3；

*W——*掘进机总质量（t）；

*F2——*掘进机刀盘受到的水压阻力 (kN)；

*P1w ——*上部水压（kN/m2）；

*P2w——*下部水压（kN/m2）；

*Ds——*掘进机壳体外径（m）；

*F3——*掘进机刀具切入岩土的挤压阻力 (kN)；

*Pd ——*单个刀圈刃切入挤压阻力 (kN)，不同地区不同土层的挤压阻力是不相同的，需要根据岩石抗压强度值进行修正；

*n ——*滚刀配置数量 (数量按刀圈实际个数计算)。

（2）土层掘进可按下列公式估算：

 （12）

 （13）

 （14）

Pe=(2P1e+Q1e+Q2e+g)/4 （15）

Q=(P1w+P2w+Q1e+Q2e)/4 （16）

式中: *F1——*掘进机外壳与洞壁之间的摩擦阻力 (kN)；

*F2——*掘进机刀盘受到的水压阻力 (kN)；

*F3——*掘进机刀具切入岩土的挤压阻力 (kN)；

*μ1——*掘进机外壳与洞壁之间的摩擦系数，可取0.3；

*Ds——*掘进机壳体外径（m）；

*Lm——*掘进机壳体长度（m）；

*Pe——*掘进机中心的平均土压力（kN/m2）；

*Q——*顶管机中心的平均水平压力（kN/m2）；

*P1w——*上部水压，单位为千牛每平方米（kN/m2）；

*P2w——*下部水压（kN/m2）；

*P1e——*上部垂直方向土压（kN/m2）；

*Q1e——*上部水平方向土压（kN/m2）；

*Q2e——*下部水平方向土压（kN/m2）；

*g ——*顶管机单位面积平均重量（kN/m2）；

*Pd’——*单个切刀切入挤压阻力(一般为4～7) (kN)，不同地区不同土层的密实度不相同，需要根据地质勘探标贯值进行修正；

*n ——*切刀配置数量 (数量按刀圈实际个数计算)。

2）穿越施工阶段，应核算空管在泥浆压力作用下的径向失稳。可参考下列公式进行核算：

*Ps*≤*F*·*Pyp* （17）

 （18）

 （19）

 （20）

 （21）

*Ps*=1.5*γH*/1000 （22）

式中：*Ps——*泥浆压力（MPa），可按1.5倍泥浆静压力或回拖施工时的实际动压力选取；

*σs——*钢管规定屈服强度（MPa）；

*F——*穿越管段强度设计系数，取0.6；

*Pyp——*穿越管段所能承受的极限外压力（MPa）；

*Pcr——*钢管弹性变形临界压力（MPa）；

*E——*钢管弹性模量（MPa），取210000 ；

*δ——*钢管壁厚（mm）；

*Ds——*钢管外径（mm）；

*——*泊桑比，0.3；

*——*钢管椭圆度（％）；

*γmud——*泥浆的重度（kN / m3）；

*H——*穿越出、入土点之高点高程与穿越轴线最低点高程之差（m）。

**8 公路、铁路穿越设计**

## 8.1 一般规定

**8.1.1～8.1.2**油气管道在选线阶段，应减少与铁路(公路)的交叉，减少因交叉带来的相互影响。当需要与公路、铁路交叉时，应选择在路基稳定、便于穿越的位置穿越。随着社会的发展，高等级公路、铁路桥梁较多，管道从桥梁下穿越是相互之间干扰小、施工简便、运行方便的方式。油气管道穿越公路、铁路，应执行交通运输部、国家能源局、国家安全监管总局联合颁布《关于规范公路桥梁与石油天然气管道交叉工程管理的通知》(交公路发〔2015〕36号 )、《油气输送管道与铁路交汇工程技术及管理规定》(国能油气〔2015〕392号)的要求，本次修订也将其相关要求纳入规范条文。

**8.1.3**本条款参照了国家现行标准《输油管道工程设计规范》GB 50253、《输气管道工程设计规范》GB 50251及《钢质管道穿越铁路和公路推荐作法》SY/T 0325、《关于规范公路桥梁与石油天然气管道交叉工程管理的通知》(交公路发（2015）36 号 )、《油气输送管道与铁路交汇工程技术及管理规定》(国能油气〔2015〕392号)的要求，并结合实际工程情况确定的。管道与被穿越的铁路(公路)宜垂直相交，使交叉管段长度短，穿越投资少，管理方便；但同时考虑穿越受到地形、地质条件、地方规划因素、各类敏感目标的限制，许多地段只能小角度交叉穿越，为此规定交叉角不宜小于30°。油气管道与公路、铁路桥梁下交叉时，在对管道采取防护措施后，交叉角可小于30°，此规定对于管道穿越既有铁路桥下，尤其是铁路桥跨越埋地管道，都给出了较大灵活性。

**8.1.6** 本条款参考《油气输送管道与铁路交汇工程技术及管理规定》(国能油气〔2015〕392号)，对穿越铁路的方式进行规定。

**8.1.9**铁路(公路)现有的涵洞是根据其具体的用途设置的，如人员、车辆通行、排水等，如果油气管道利用涵洞穿越，从管道工程方面考虑方便了施工，减少了投资，但是对于铁路(公路)来说，改变了涵洞功能，增加了安全隐患。

**8.1.10**　本条规定了管道穿越铁路(公路)时输送管道或者套管顶部的最小覆盖层厚度。覆盖层厚度不仅关系到管道的受力问题，还关系到路基及其路基下部土层承受车辆作用的问题，因此管道穿越公路、铁路，既要进行管道计算，还应该满足最小覆盖层厚度。如果不能满足最小覆盖层厚度，应该采取加固措施。最小覆盖层厚度是参照《油气管道与铁路交汇工程技术及管理规定》(国能油气〔2015〕392号)第八条；现行行业标准《铁路工程设计防火规范》（TB 10063-2016）第4.1.4条修订的。

**8.1.11**本条是为了避免公路、铁路不均匀沉降对输送管道或者套管的影响。如果土层不均匀，应采取措施保证管道的安全。

**8.1.12**套管的内径比管道内径大300mm主要为了便于油气管道安装。钢筋混凝土套管采用人工顶管施工方法时，内直径不应小于1m，是为了满足顶管人工开挖作业的需要。

**8.1.13**　本条是根据现行行业标准《铁路工程设计防火规范》TB10063的规定编制的。

**8.1.15～8.1.16**　套管中的输送管道与套管之间，以及多根输送管道之间电绝缘是阴极保护的需要。应对电绝缘体支撑的支撑压力进行控制，不应造成管道防腐涂层的损坏。

## 8.2 公路穿越

**8.2.1**本条提出无套管穿越公路管段的计算要求。

**8.2.2**　无套管穿越公路管段主要受到内压、温差、土压力和车辆荷载的组合作用，车辆荷载对管道的作用应考虑冲击系数。其他荷载，例如与管道运行状况有关的波动、与专用设备有关的异常表面荷载以及土壤收缩和膨胀、冻胀和融沉、附近区域开挖和爆破等引起的地面变形，都是特殊条件引起的，应根据现场具体情况进行评估，因此未将这些荷载列入本规范。

**8.2.4**　公路车辆荷载作用下管道的循环应力，参考了API RP 1102-2207（2014）的计算方法。计算中考虑了内压产生的管道环向应力和土压力产生的管道环向应力的泊松效应，未考虑车辆荷载产生的管道环向循环应力的泊松效应，这是因为环向循环应力和轴向循环应力计算公式来源于有限元分析，其中已考虑了泊松效应。

**8.2.5**　无套管穿越公路管段的环向焊缝和钢管管体焊缝疲劳验算，采用允许应力法，通过将管壁上垂直于焊缝方向的循环应力与耐疲劳极限应力的允许值比较进行验算。需要校核钢管对接环焊缝在轴向循环应力作用下的疲劳；无套管穿越公路管段采用直缝钢管时，应校核管体轴向焊缝在环向循环应力作用下的疲劳；采用螺旋钢管时，应校核管体螺旋焊缝的疲劳，应将轴向循环应力和环向循环应力在管壁上垂直于螺旋焊缝的方向进行分解并叠加。

**8.2.6** 无套管穿越公路管段受到土压力和车辆荷载的组合作用，竖向荷载较大，需要进行管道圆截面失稳校核。本规范推荐采用依阿法（IOWA）公式计算管道径向变形，变形量不超过管道外径的3%。无内压时，管道的径向稳定性最不利，以此作为径向稳定性的校核该工况。

无套管穿越公路管段，总竖向荷载为管顶上方的土压力（静荷载）和车辆荷载（活荷载）。土压力计算时，考虑到管道在初始回填时回填土较为松散，土拱效应不明显，土压力保守取管道上方土柱重量。车辆荷载对管道的作用，采用弹性半无限体中压力分布方法计算。将车辆单轮对路面的压力简化为集中荷载，集中荷载对管道的作用采用布辛涅斯克（Bonssinnesq）公式计算，计算时应考虑多个车轮对管道作用的叠加，取最不利的工况。

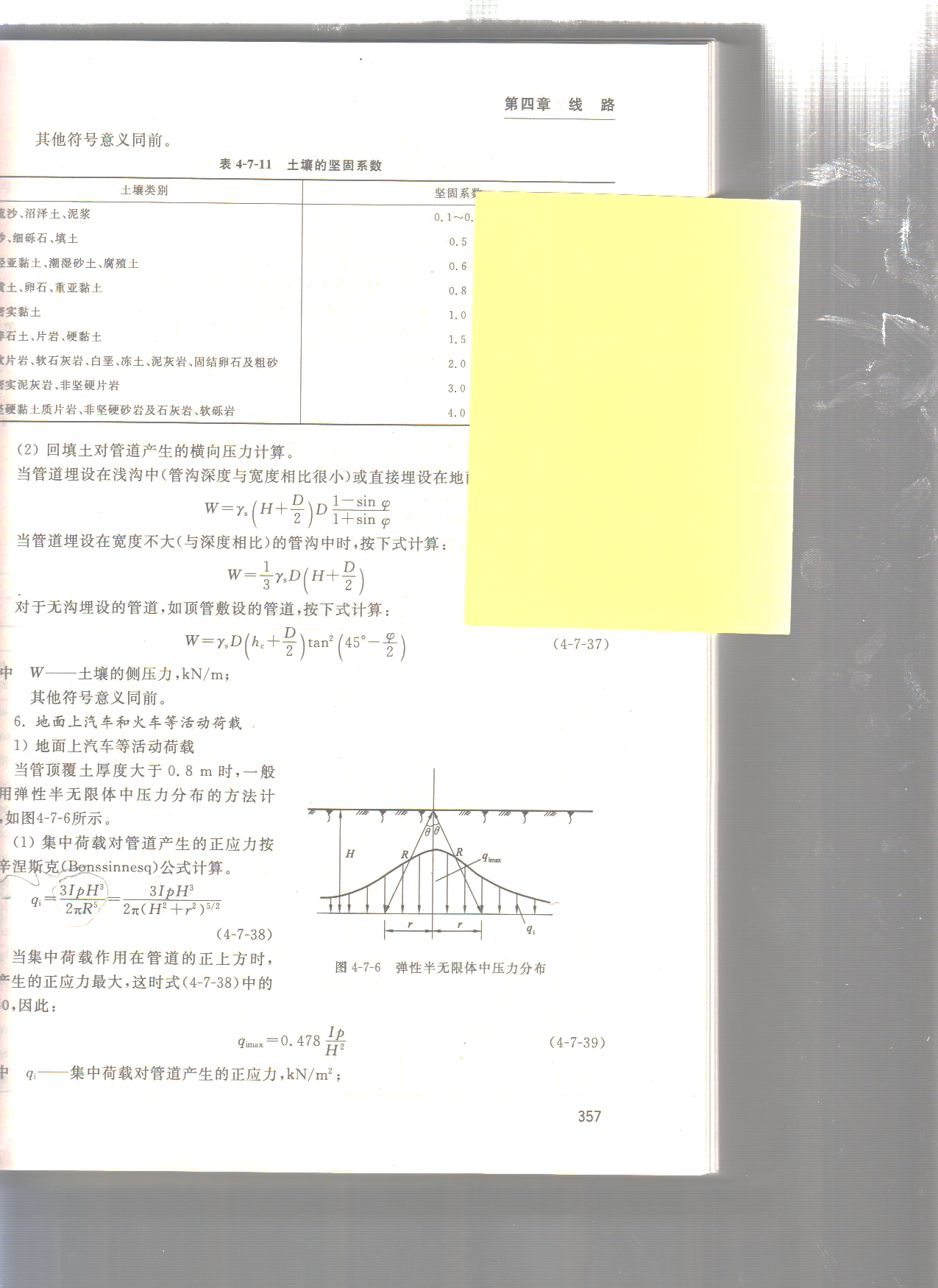


图4弹性半无限体中压力分布

根据《公路工程技术标准》JTG B01-2014和《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2015，III、IV级公路采用公路-II级车辆荷载，采用较保守的后轴重力标准值2×140kN，车辆单轮对路面的压力为70kN。

**8.2.7** 钢筋混凝土盖板应有足够的刚度和长度，能够承担上部荷载并使荷载分散至较大区域的土层中，有效降低竖向荷载对管道的作用。为了防止公路开挖作业损坏管道，本条提出在管顶上方500mm处设警示带，提醒作业人员。盖板长度是依据《关于规范公路桥梁与石油天然气管道交叉工程管理的通知》(交公路发（2015）36 号 )的相关规定。

**8.2.8** 管道采用定向钻方式穿越公路桥梁时，为保证公路桥梁的安全，管道与桥梁墩台的距离应和桥梁下管道的埋深是按《关于规范公路桥梁与石油天然气管道交叉工程管理的通知》(交公路发（2015）36 号 )的规定进行要求。

**8.2.9** 采用大开挖直埋穿公路的管段，为保证车辆作用能达到按刚性角分布，且不危害因沉降造成事故，制定本条规定。

## 8.3 铁路穿越

**8.3.1** 本条规定是依据《油气管道与铁路交汇工程技术及管理规定》(国能油气〔2015〕392号)中对于管道穿越铁路桥梁（非跨主河道区段）下方管道直接埋设通过的规定制定，对开挖穿越铁路桥梁的管道采用钢筋混凝土盖板保护，施工过程中应对既有桥梁墩台或管道设施采取防护措施，确保管道与桥梁的安全。

**8.3.2** 本条规定是依据《油气管道与铁路交汇工程技术及管理规定》(国能油气〔2015〕392号)中对于管道采用顶管穿越铁路路基时的规定制定。通过对顶管穿越的长度、埋深、套管结构、套管施工、套管填充做出要求，以保证管段穿越铁路的安全。

**8.3.3** 本条规定是依据《油气管道与铁路交汇工程技术及管理规定》(国能油气〔2015〕392号)中对于管道采用箱涵穿越铁路路基时的规定制定。对箱涵的尺寸应按本条规定，在特殊条件下，涵洞尺寸可由管道和铁路管理单位协商确定。

**8.3.4** 本条规定是依据《油气管道与铁路交汇工程技术及管理规定》(国能油气〔2015〕392号)中对于管道采用定向钻穿越铁路时的规定制定。定向钻穿越铁路，首先应根据地质情况、埋深等因素核算定向钻穿越满足铁路线路设施稳定时，才能实施定向钻穿越。

**8.3.5** 本条规定是依据《油气管道与铁路交汇工程技术及管理规定》(国能油气〔2015〕392号)中对于管道或管道隧道与铁路隧道洞身交叉时的规定制定，规定了管道与铁路隧道交叉净距，在特殊地形情况下，采取工程措施并经既有设施企业审批通过后，可将交叉净距适当减小。

管道施工采用爆破作业时应采取保持围岩稳定的措施，并根据既有隧道结构类型、结构状态、爆破环境条件以及既有铁路或管道运输性质、轨道或钢管类型等综合因素对既有设施的允许爆破振动速率进行评估确定，爆破方案应征得既有设施企业的同意。

**9 焊接、试压及防腐**

## 9.1 焊接检验

**9.1.1** 穿越工程是管道工程的一部分，因此本条规定应按现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB50251与《输油管道工程设计规范》GB50253的规定执行穿越管段的焊接。

**9.1.2** 根据近20年来我国管道工程对焊接进行无损检测的要求，采用100%的射线探伤检验已在西气东输等一系列大型工程中执行。线路工程焊缝在进行了100%的射线探伤后，按照一定比例采用超声波进行检验。考虑到穿越工程的重要性，规定了对接环焊缝除进行100%的射线探伤外，还要进行100%的超声波检验。

**9.1.3** 射线探伤和超声波探伤分级标准各规定了两个验收标准：其中现行国家标准《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323是以压力容器探伤为主的分级标准，超声波探伤检验是按现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB/T 11345执行的，这两个标准都是在输油和输气工程设计规范中所规定采用的。另一个是行业标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109，依据美国API推荐的RP1104编制的，本标准更适用于长距离管道现场野外对接接头焊缝的射线和超声波探伤检验，我国近期施工的管道多以此为验收标准。

近年来，随着中俄东线天然气管道建设启动，以及对环焊缝排查、焊缝失效的研究，同时，随着全自动焊接技术的发展，全自动焊成为长输管道焊接工艺的主流，为了与焊接工艺匹配，超声波的检测规定执行《石油天然气管道工程全自动超声波检测技术规范》GB 50818。

## 9.2 清管、测径及试压

**9.2.1** 本条规定了对试压前后进行清管处理，是为了保证穿越管段内部清洁及输送介质的质量。

**9.2.2** 河流小型穿越、二级及以下等级公路穿越在线路中很多，且分散于全线，为减少管道试压段落的零碎分割，不影响施工周期及施工中的资源利用，并参照美国《液态烃和其他液体管线输送系统》B31.4与《输气和配气管线系统》B31.8标准要求，制定了本条规定。

此处试压条件许可主要是指穿越段与两端线路段设计系数一致、钢管壁厚选择一致、试压要求一致的情况下，水域小型穿越、二级及以下等级公路穿越可以与两端线路段一起试压。

对于连续隧道群，如果管道设计系数一致，钢管壁厚选择一致、试压要求一致的情况下，可以以隧道群为一个单独试压段，一起试压。

**9.2.4、9.2.5** 这两条规定了分阶段试压、合格要求，与现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB50251-2003、《输油管道工程设计规范》GB50253-2003及《油气长输管道工程施工及验收规范》GB50369-2014的要求一致。

**9.2.6** 为检验穿越管段的安全性，本条规定强度试压的试验压力要求为1.5倍设计内压力，严密性试验压为设计内压力，并规定了稳压时间要求。需要说明的是，输油管道各点的设计内压设计中可能选取的不同，特别是低洼处的静压力应予充分的考虑。本条规定与输气、输油管道工程的设计和施工验收规范均一致。

**9.2.7** 定向钻穿越回拖之后的严密性试压是检验管道穿越质量的重要手段，能够检验管道的承压密封性，避免由于回拖施工作业造成管道损坏泄漏。

重要区段定向钻穿越指通过七大水系的干流，环境敏感地区，两岸有村庄或其他重要建构筑物，地质条件为岩石、卵砾石、中粗砂，两岸为高后果区，介质有污染性的定向钻穿越。考虑到重要区段定向钻穿越施工的复杂性及失效后果的严重性，提出回拖后，管道做第二次严密性试验的要求，保证回拖后穿越管道的完整性和可靠性。对于地质条件好、穿越长度短、穿越管径小、非污染性介质、不经过敏感点或高后果区等的定向钻穿越，可以根据情况，不进行第二次严密性试验。

**9.2.8** 由于穿越管段是单独试压，它与埋地管段存在碰口连头的问题。本条规定应避免施工连头段采用机械强力组装焊接的情况，以避免在管道中形成很大的组装应力，强力组装的焊口内容易存在焊接缺陷而且探伤困难，所以做出本条规定。

最好将两端埋地管段在自由状态下与穿越管段碰口，然后再回填埋地管道。

## 9.3 腐蚀控制

**9.3.1** 本条款规定了穿越管段防腐应遵循的标准规范，要求满足相关标准的规定。

**9.3.2** 目前国内油气管道线路工程基本采用三层聚烯烃或熔结环氧粉末外防腐涂层等，穿越段管道应根据穿越工程环境条件需要选取适宜的外防腐涂层，且防腐等级应为三层聚烯烃或熔结环氧粉末防腐层的加强级。其中，三层聚丙烯外防腐层执行《钢质管道聚丙烯防腐层技术规范》SY/T 7041，三层聚乙烯外防腐层执行《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》GB/T 23257，熔接环氧粉末外防腐层执行《钢制管道熔结环氧粉末外涂层技术规范》GB/T 39636，管道外防腐补口执行 《管道外防腐补口技术规范》GB/T 51241。

**9.3.3** 在对稳管、护管或支撑等金属构件有腐蚀性的环境中，为确保这些构筑物不因腐蚀而丧失使用功能，制定本条规定，要求采用相应的防腐性材料制作这些构筑物。

**9.3.4** 当穿越段管道浸没在土壤或其它如泥浆、地下水等具有较强腐蚀性的环境时，除采用防腐涂层对管道与腐蚀环境进行物理隔离外，还需增设阴极保护系统进行外腐蚀控制。此外，本条不是推荐穿越管道采用与邻近线路管道相独立的阴极保护系统，而是对某些特殊的穿越段管道，有特殊需要时的一种阴极保护做法。如长距离的埋设在冻土内的管道、穿越时导致防腐层破损严重的管道，此时必须要施加特殊的保护措施时，由于可能需要采用与邻近线路管道不相同的阴极保护方式，此时推荐穿越管道与邻近线路管道实施电绝缘。

**9.3.5** 在穿越管段设置阴极保护测试桩点，是为了检测穿越管段的阴极保护是否处于正常保护范围，防止管段因腐蚀而损坏。

**9.3.6** 本条款是为了确保穿越管段的阴极保护发挥正常的保护功能。